

5947 / HC / H / 93 .

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERBAIKAN JALAN PADA TANAH SWELLING (SWELLING SOIL) DI LAKARSANTRI, SURABAYA



PSS
625.76
Boe
D-1
1993

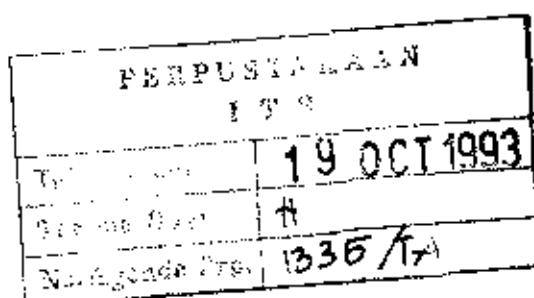
Disusun oleh :

Boedi Winarto
3873100564

BIDANG STUDI PERHUBUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1993

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERBAIKAN JALAN PADA TANAH SWELLING (SWELLING SOIL) DI LAKARSANTRI, SURABAYA



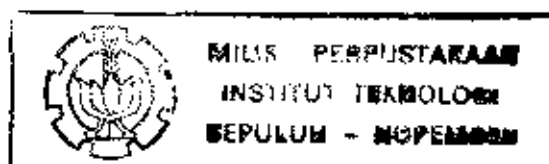
Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Djoko Untung



Ir. Soedjanarko S, M.Eng

BIDANG STUDI PERHUBUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1993



**PERENCANAAN PERBAIKAN JALAN PADA TANAH SWELLING
(SWELLING SOIL) DI LAKARSANTRI, SURABAYA**

Oleh : Boedi Winarto
3873100564

A B S T R A K

Jalan Lakarsantri merupakan salah satu jalan alternatif yang menghubungkan kota Surabaya dengan Kabupaten Gresik guna mendukung perkembangan kota Surabaya sendiri dan mempermudah arus lalu lintas antara kedua kota tersebut. Kondisi jalan Lakarsantri saat ini mengalami banyak kerusakan, tidak hanya pada permukaan perkerasan tetapi juga pada badan jalan tersebut. Penyebab utama kerusakan jalan Lakarsantri adalah akibat pengaruh kembang-susut yang besar pada tanah dasar (subgrade) jalan tersebut.

Masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui berapa besarnya tingkat kembang-susut pada tanah dasar pada kedalaman yang telah ditentukan dan bagaimanakah cara penanggulangan masalah tersebut, serta bagaimanakah perencanaan perkuatan pada perkerasan jalan tersebut.

Oleh karena itu dalam perencanaan ini dilakukan pengujian sifat fisik maupun mekanis pada subgrade jalan Lakarsantri. Adapun pengujian swelling dilakukan pada contoh tanah dengan variasi kadar air yang berbeda-beda untuk masing-masing Ya (kondisi dry side, Wc optimum, dan wet side). Kemudian dilakukan analisis data dan perhitungan untuk menentukan alternatif penanggulangan dan perencanaan perkuatan perkerasan jalan.

Berdasarkan hasil data dan analisis data menunjukkan bahwa subgrade jalan Lakarsantri termasuk dalam kelompok A-7-6(16) (cara AASHTO) atau CH (cara UCS). Subgrade jalan tersebut mengandung banyak mineral lempung Illite, dan tergolong tanah yang aktifitasnya sedang ($A = 0,76$). Besarnya swelling yang didapatkan mencapai 18 % (dry side), 13,15% (Wc opt), dan 7,55 % (wet side). Tingkat potensial swelling-nya termasuk tinggi. Sedangkan daya dukung tanah (CBR subgrade) sebesar 2 % dan $q_u = 0,107 \text{ kg/cm}^2$.

Penanggulangan masalah kembang-susut memakai beberapa alternatif pendekatan yang sesuai dengan kondisi daerah Lakarsantri, yaitu penggunaan lapisan kedap air (aspal) dan penggantian tanah dasar dengan tanah yang "baik" atau kombinasi dari cara tersebut.

Tebal lapisan tambahan (overlay) yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan metode AASHTO 1986 adalah 8,5 cm. Bahan penetrasi yang digunakan untuk overlay tersebut adalah aspal beton (AC/Laston).

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas Akhir merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa dalam menempuh jenjang pendidikan Strata I (S-1) di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir dengan bobot 6 SKS ini harus dilakukan setelah mahasiswa menempuh jumlah SKS sebanyak yang telah disyaratkan.

Dengan Tugas Akhir ini diharapkan mahasiswa dapat mengaplikasikan ilmu yang telah diperolehnya selama kuliah. Dengan ilmu yang telah kami peroleh tersebut, maka dalam penyusunan Tugas Akhir ini kami mengambil judul "Perencanaan Perbaikan Jalan Pada Tanah Swelling (Swelling Soil) Di Lakarsantri, Surabaya".

Kami menyadari apabila hasil Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini sangatlah kami harapkan.

Pada kesempatan ini pula kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak DR. Ir. Djoko Untung dan Ir. Soedjanarko M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir,
2. Ibu Ir. Sri Wijati SN. , selaku Ketua Bidang Studi Perhubungan Teknik Sipil - FTSP ITS,
3. Bapak Ir. Moesdarjono S. M.Sc. , selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil - FTSP ITS,
4. Bapak Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil - FTSP ITS beserta staf yang telah memberikan pengarahan dan menyediakan fasilitas laboratorium guna penyelesaian Tugas Akhir ini,
5. Semua pihak yang turut membantu/mendukung penyusunan Tugas Akhir sehingga akhirnya dapat terselesaikan.

Akhir kata kami mengharapkan agar Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penyusun pada khususnya.

Surabaya, Oktober 1993

Penyusun

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
 BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	5
1.3. TUJUAN	6
1.4. RUANG LINGKUP STUDI	6
 BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. TANAH LEMPUNG (CLAY SOIL)	8
2.2. MEKANISME PENYUSUTAN DAN PENGEMBANGAN PADA TANAH LEMPUNG	22
2.3. ALTERNATIF PERBAIKAN TANAH MENGEMBANG (SWELLING SOIL)	32
2.4. EKVALENSI BEBAN GANDAR METODE AASHTO (1986)	37
2.5. METODE AASHTO UNTUK MERENCANAKAN TEBAL PERKERASAN	41

BAB III : METODOLOGI PENYELIDIKAN PENGARUH KEMBANG SUSUT TANAH	57
3.1. PENGUMPULAN DATA DI LAPANGAN	57
3.2. PELAKSANAAN PENGUJIAN TANAH DI LABORATORIUM	58
BAB IV : HASIL PENYELIDIKAN TANAH DI LABORATORIUM DAN ANALISIS DATA	79
4.1. HASIL PENYELIDIKAN TANAH DI LABORATORIUM	79
4.2. ANALISIS DATA	84
BAB V : PENANGGULANGAN MASALAH KEMBANG SUSUT TANAH PADA JALAN LAKARSANTRI	109
5.1. MENUTUP (COVERING) PERMUKAAN TANAH DENGAN LAPISAN KEDAP AIR	112
5.2. MENJAGA KADAR AIR TANAH SELALU BASAH SEPANJANG TAHUN	119
5.3. ANALISIS PERHITUNGAN KEDALAMAN KRITIS (H_{cr})	133
BAB VI : PERENCANAAN PERKUATAN PERKERASAN JALAN LAKARSANTRI	137
6.1. SURVEY KONDISI PERKERASAN JALAN ..	137
6.2. PERENCANAAN PERKUATAN JALAN DENGAN	

OVERLAY MENURUT METODE AASHTO 1986	142
BAB VII : KESIMPULAN DAN SARAN	159
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN - LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Batasan-Batasan Ukuran Partikel Tanah	
	Lempung.....	9
Tabel 2.2.	Faktor Ekuivalen Beban Gandar Perkerasan	
	Lentur, $pt = 2,0$ (AASHTO, 1986).....	40
Tabel 2.3.	Rentang Nilai DL yang Digunakan Menghitung	
	W_{18}	43
Tabel 2.4.	Tingkatan Reliabilitas, R.....	47
Tabel 2.5.	Korelasi Reliabilitas dengan Simpangan Baku	
	Z_R	48
Tabel 2.6.	Tingkatan Drainase.....	49
Tabel 2.7.	Nilai Koefisien Drainase (m) pada	
	Perkerasan Lentur.....	51
Tabel 2.8.	Ketebalan Minimum (inch) yang Ditentukan...	51
Tabel 3.1.	Beban Penetrasi Standard.....	76
Tabel 4.1.	Berat Volume Tanah (γ_t).....	79
Tabel 4.2.	Kadar Air Tanah (W_c).....	79
Tabel 4.3.	Specific Gravity.....	80
Tabel 4.4.	Hasil Test Konsistensi Tanah.....	80
Tabel 4.5.	Hasil Modified Proctor Test.....	85
Tabel 4.6.	Harga γ_d maks dan W_c optimum.....	89
Tabel 4.7.	Hasil Swelling Test.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Lokasi jalan Lakarsantri.....	3
Gambar 1.2.	Lokasi pengambilan contoh tanah.....	4
Gambar 2.1.	Lembaran Silika (Silica sheet).....	11
Gambar 2.2.	Lembaran Octahedra (Octahedra sheet).....	11
Gambar 2.3.	Struktur dasar mineral Montmorillonite....	15
Gambar 2.4.	Struktur dasar mineral Kaolinite.....	16
Gambar 2.5.	Struktur dasar mineral Illite.....	17
Gambar 2.6.	Struktur dasar mineral Vermiculite.....	18
Gambar 2.7.	Skema diagram molekul air.....	19
Gambar 2.8.	Ukuran partikel terhadap penyerapan air pada mineral Montmorillonite dan Kaolinite	20
Gambar 2.9.	Diffuse double layer.....	21
Gambar 2.10.	Fenomena shrinkage pada tabung Terzaghi....	24
Gambar 2.11.	Peristiwa kapiler pada pipa sempit.....	26
Gambar 2.12.	Konfigurasi beban gandar dan konfigurasi- nya.....	38
Gambar 2.13.	Prosedur penentuan ketebalan lapisan.....	50
Gambar 2.14.	Diagram perencanaan SN.....	53
Gambar 2.15.	Koefisien lapisan permukaan (a_1) AASHTO, 1986.....	54
Gambar 2.16.	Koefisien lapisan base (a_2) AASHTO, 1986..	55

Gambar 2.17.	Koefisien lapisan subbase (as)	
	AASHTO, 1986.....	56
Gambar 3.1.	Batas-batas Aterberg.....	61
Gambar 3.2.	Pempek samping alat untuk Liquid Limit Test.....	62
Gambar 3.3.	Alat penggores untuk LL test.....	63
Gambar 3.4.	Skema dari tanah dalam mangkok untuk Liquid Limit Test.....	64
Gambar 3.5.	Plot Antara Kadar Air (%) dan jumlah pu- kulan (N).....	65
Gambar 3.6.	Skema dari cetakan dan penumbuk untuk test pemadatan.....	70
Gambar 3.7.	Grafik hasil test pemadatan.....	72
Gambar 3.8.	Pembuatan contoh tanah untuk test swelling	74
Gambar 3.9.	Skema alat test swelling.....	74
Gambar 3.10.	Alat untuk test CBR di laboratorium.....	76
Gambar 3.11.	Bagan Metodologi Penyelidikan.....	78
Gambar 4.1.	Grain size distribution titik 3.....	84
Gambar 4.2.	Grafik modified proctor test titik 3.....	86
Gambar 4.3.	Grafik modified proctor test titik 4.....	87
Gambar 4.4.	Grafik modified proctor test titik 5.....	88
Gambar 4.5.	Persen nilai CBR dengan metode 15 titik...	93
Gambar 4.6.	Rentang dari LL dan PI untuk menentukan klasifikasi tanah sesuai sistem AASHTO....	96

Gambar 4.7.	Nilai swelling test pada titik 3.....	101
Gambar 4.8.	Nilai swelling test pada titik 4.....	102
Gambar 4.9.	Nilai swelling test pada titik 5.....	103
Gambar 4.10.	Grafik potensial swelling.....	105
Gambar 5.1.	Mekanisme kerusakan jalan akibat kembang-susut tanah dasar.....	111
Gambar 5.2.	Penggunaan lapisan aspal sebagai lapisan kedap air.....	117
Gambar 5.3.	Penggunaan Geomembran sebagai lapisan ke- dap air.....	
Gambar 5.4.	Penggantian tanah dasar dengan tanah yang "baik".....	121
Gambar 5.5.	Sistem sand drain/sand column.....	124
Gambar 5.6.	Kombinasi antara lapisan kedap air dengan saluran berfungsi ganda.....	131
Gambar 5.7.	Grafik nilai faktor stabilitas tanah (m)..	135
Gambar 6.1.	Susunan tebal perkerasan yang ada (lama)..	143
Gambar 6.2.	Ekivalen beban gandar standar pada metode Sina Marga, 1981.....	145
Gambar 6.3.	Diagram perencanaan SN.....	151
Gambar 6.4.	Susunan tebal perkerasan setelah overlay..	158

BAB I

P E N D A H U L U A N

1.1. LATAR BELAKANG

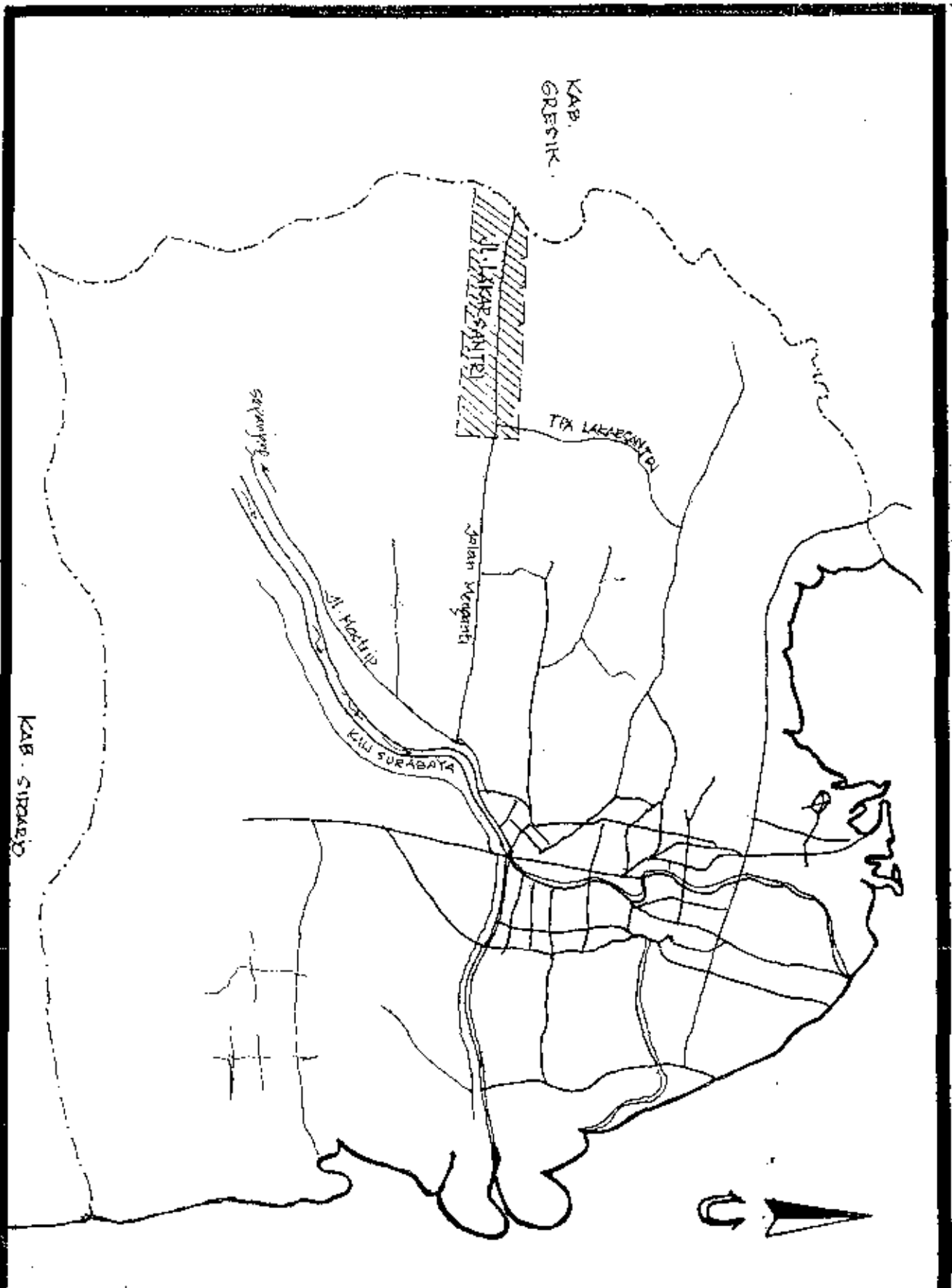
Jalan Lakarsantri merupakan salah satu jalan penghubung antara Kotamadya Surabaya dengan Kabupaten Gresik. Jalan Lakarsantri dengan klasifikasi jalan kelas III dapat dijadikan sebagai salah satu jalan alternatif untuk arus lalu lintas yang menuju atau keluar dari kedua kota tersebut. Terutama bagi kota Surabaya khususnya, yang akhir-akhir ini mengalami perkembangan yang semakin pesat. Hal ini dapat dilihat dari tingkat pertumbuhan penduduk kota Surabaya dan juga tingkat perekonomian kota Surabaya yang semakin meningkat. Perkembangan kota Surabaya saat ini cenderung semakin melebar ke wilayah Barat, karena perkembangan kota Surabaya ke wilayah Timur ataupun Utara sudah tidak memungkinkan lagi. Sehingga dengan demikian diharapkan perencanaan perbaikan ruas jalan Lakarsantri dapat mengantisipasi masalah transportasi akibat perkembangan persebaran wilayah kota Surabaya tersebut di masa mendatang. Juga diharapkan perencanaan perbaikan jalan tersebut dapat mengurangi tingkat kepadatan lalu lintas di jalur Utara antara kota Surabaya dengan Kabupaten Gresik. Untuk mewujudkan ruas jalan Lakarsantri sebagai jalan alter-

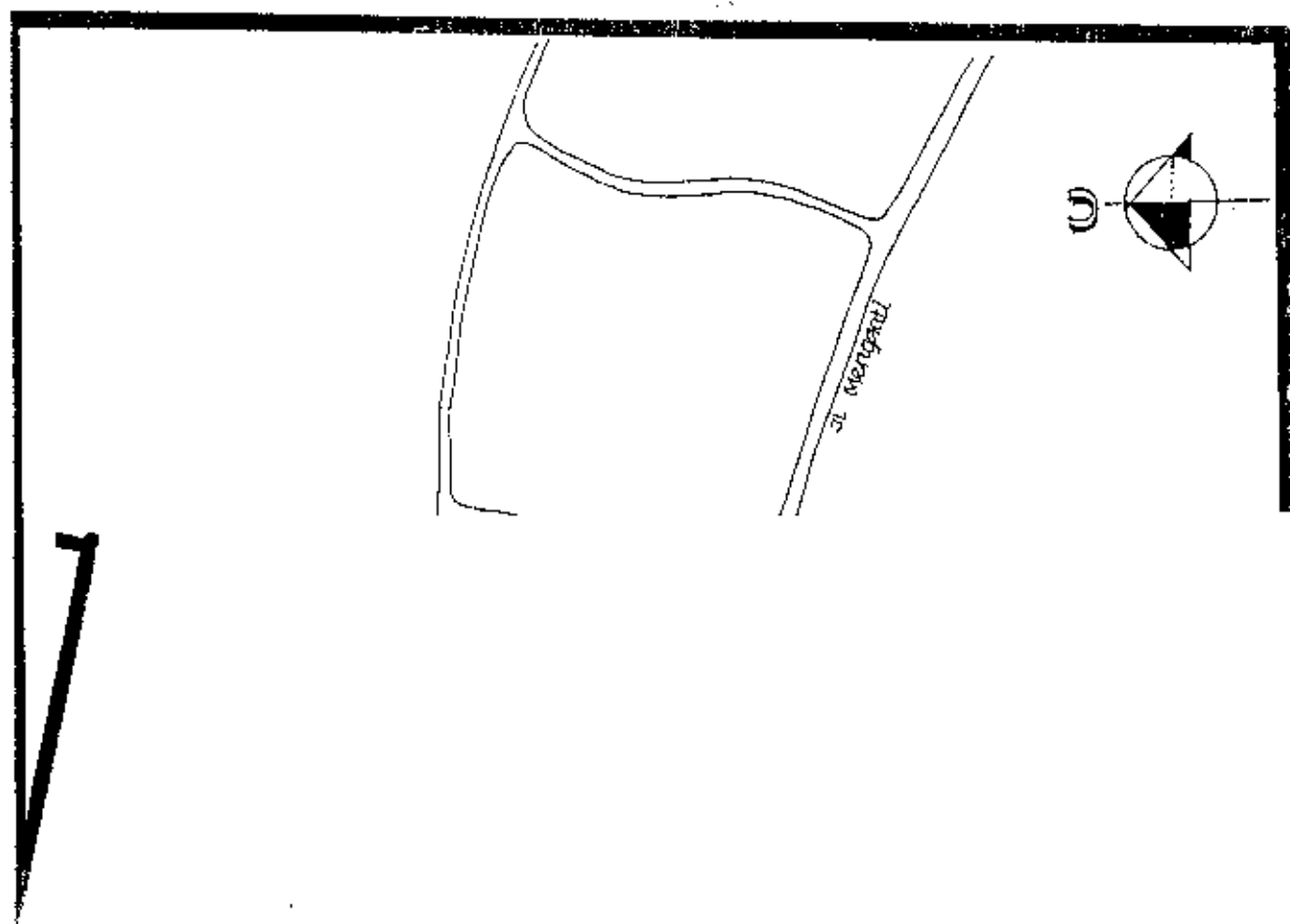
Jalur yang menghubungkan antara kota Surabaya dengan kota Gresik diperlukan suatu kondisi jalan yang dapat memenuhi syarat kekuatan struktur jalan atau kemampuan jalan untuk dapat menampung beban lalu lintas yang melewati jalan tersebut. Berdasarkan pengamatan di lapangan mengenai kondisi jalan Lakarsantri saat ini maupun sebelumnya, banyak sekali dijumpai kerusakan-kerusakan hampir di sepanjang ruas jalan tersebut, terutama pada badan jalan. Kerusakan utama pada jalan tersebut disebabkan oleh adanya struktur tanah yang tidak stabil, karena pengaruh kembang susut tanah yang tinggi atau adanya swelling soil. Disamping itu juga kerusakan jalan dapat juga disebabkan karena perencanaan perkerasan jalan itu sebelumnya sangat jelek atau tidak memenuhi syarat sehingga tidak mampu menahan beban arus lalu lintas yang melewatinya.

1.1.1. Lokasi Pengambilan Contoh Tanah

Daerah Lakarsantri merupakan wilayah Surabaya, tepatnya di wilayah Surabaya Barat, yaitu di Kecamatan Lakarsantri. Daerah ini berbatasan langsung dengan Kabupaten Gresik, yang merupakan daerah yang semakin berkembang baik di bidang ekonomi maupun perlambuhan penduduknya. Ruas jalan Lakarsantri sendiri mempunyai panjang jalan \pm 5 km, termasuk jalan kolektor dengan klasifikasi jalan kelas III atau hanya boleh

dilewati kendaraan dengan beban maksimum 3 ton. Gambar lokasi jalan Lakarsantri dan pengambilan contoh tanah dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 1.b. Lokasi pengambilan contoh tanah.

Sebagikan pengambilan contoh tanah dilakukan pada tanah di sekitar tepi jalan yang mengalami kerusakan yang paling berat, dimana kerusakan jalan tersebut kira-kira sepanjang 2 km (Km 0+000 - Km 2+000). Jadi pengambilan contoh tanah dilakukan dengan cara pengeboran sedalam 1 - 1,5 m, di mana sepanjang 2 km tersebut di ambil 5 titik pengeboran, yang masing-masing diambil contoh tanah undisturb dan disturb.

1.2. PERMASALAHAN

Dalam perencanaan perbaikan jalan di daerah lakarsantiri dijumpai adanya beberapa permasalahan mendasar yaitu :

- Berapa besarnya nilai swelling yang terjadi pada tanah dasar car (subgrade) jalan lakarsantiri tersebut ?
- Bagaimana pengaruh tingkat swelling pada tanah dasar (subgrade) setempat ditinjau pada kedalaman yang telah ditentukan ?
- Bagaimana cara mengatasi masalah swelling soil yang terjadi di pada subgrade jalan lakarsantiri, sehingga diharapkan dapat memperbaiki seminimum mungkin tingkat kerusakan pada jalan tersebut ?
- Bagaimana sebaiknya perencanaan tebal perkerasan yang memadai sesuai dengan kondisi tanah setempat, sehingga konstruksi jalan tersebut mampu mendukung beban lalu lintas yang melewatinya dan tahan lama ?

1.2. T U J U A N

Melihat kondisi jalan lakasanti saat sekarang, maka perencanaan perbaikan jalan ini tidak hanya bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh tingkat swelling terhadap kerusakan jalan, tetapi juga untuk merencanakan suatu konstruksi jalan sebaik mungkin sesuai dengan kondisi tanah setempat. Sehingga diharapkan dari perencanaan perbaikan jalan ini didapatkan konstruksi jalan yang tidak hanya mampu mendukung beban lalu lintas yang ada saat ini tetapi juga dapat meningkatkan kualitas kelas jalan serta tahan lama (awet).

Disamping itu pula dengan adanya perencanaan perbaikan jalan ini akan dapat meningkatkan kelancaran arus lalu lintas yang mendukung pula sistem transportasi dan perekonomian di daerah setempat, sehingga semakin berkembang dan berjalan lancar.

1.4. RUANG LINGKUP STUDI

Menyadari akan adanya keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu terbatasnya waktu dan dana serta kemampuan yang ada, maka dalam pembahasan Tugas Akhir ini dibatasi hanya pada :

- Penelitian tanah yang dilakukan adalah untuk mencari hubungan antara beberapa parameter sebagai berikut :
- Dry density (γ^p) dengan Water content (Wc)

- Water content dengan nilai swelling
 - Dry density (γ_d) dengan CBR
 - Menentukan besarnya swelling berdasarkan harga γ_d dengan kadar air pada kondisi wet side, W_c optimum, dan dry side.
 - Pemilihan alternatif penanggulangan masalah swelling soil didasarkan pada kondisi yang ada di lapangan.
 - Merencanakan tebal perkerasan berdasarkan metode AASHTO.
- Karena data bentuk jenis kendaraan tidak sama dengan data AASHTO, maka untuk mencari angka ekuivalensi sumbu (E) masing-masing jenis kendaraan digunakan asumsi distribusi beban gandar sesuai dengan Bina Marga (1981).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TANAH LEMPUNG

Tanah lempung dapat didefinisikan berdasarkan 2 pengertian dasar, yaitu :

- Tanah lempung sebagai butiran tanah.
- Jenis mineral yang dikandung di dalam tanah lempung.

Suatu tanah dapat dikatakan sebagai tanah lempung bila ukuran butiran tanahnya lebih kecil dari 0,002 mm (2 mikron). Sedangkan suatu tanah dapat juga dikatakan sebagai tanah lempung apabila mineral yang dikandungnya dapat menghasilkan sifat plastis pada tanah ketika di dicampur dengan air (Grim, 1983). Tetapi suatu tanah dapat dikatakan bukan sebagai tanah lempung (non clay soil) apabila di dalamnya tidak terkandung mineral-mineral walaupun ukuran butirannya lebih kecil dari 2 mikron. Jadi definisi dari tanah lempung adalah suatu tanah yang mempunyai ukuran butiran lebih kecil dari 2 mikron (0,002 mm) dan di dalamnya mengandung mineral lempung.

Penjelasan secara terperinci mengenai ukuran butiran tanah lempung mineral lempung akan dibahas pada sub bab berikutnya.

2.1.1. Ukuran Butiran Tanah Lempung.

Tanah lempung sebagian besar terdiri dari partikel-partikel yang sangat halus dan tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan menggunakan mikroskop biasa. Partikel-partikel tersebut berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan mineral-mineral lempung (clay mineral), dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya. Ukuran butiran tanah lempung pada umumnya lebih kecil dari 2 mikron. Batasan-batasan mengenai ukuran butiran tanah lempung menurut Massachusetts Institute of Technology (MIT), U.S. Department of Agriculture (USDA), American Association of State Highway and Transportation (AASHTO), dan Unified Soil Classification System (USCS) dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Batasan-Batasan Ukuran Partikel Tanah Lempung.

Nama Golongan	Ukuran Butiran Lempung (mm)
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	$< 0,002$
U.S. Department of Agriculture (USDA)	$< 0,002$
American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)	$< 0,002$
Unified Soil Classification System (USCS)	$< 0,0075$ halus (yaitu lanau dan berlempung)

2.1.2. Mineral Lempung.

Mineral lempung (clay mineral) merupakan senyawa Aluminium Silicat yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar, yaitu :

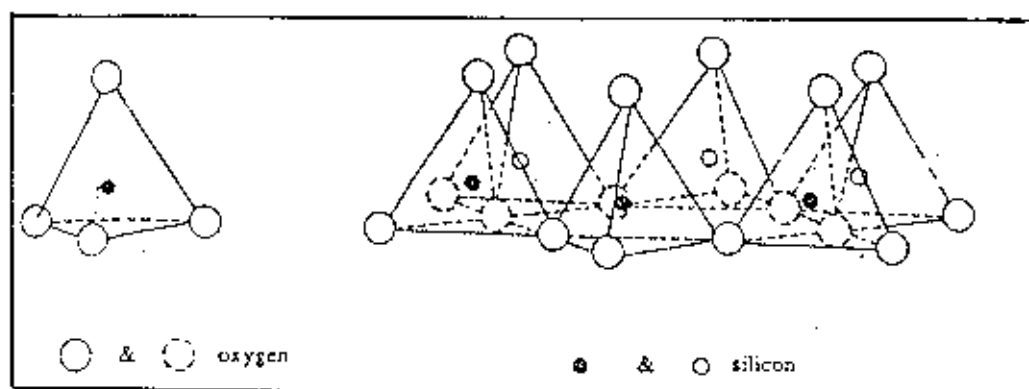
- Silica Tetrahedra
- Aluminium Octahedra

Setiap unit Tetrahedra terdiri dari 4 atom Oksigen yang membentuk puncak-puncak Tetrahedra dan mengelilingi atom Silicon. Kombinasi dari unit-unit Silica Tetrahedra membentuk lembaran Silica (Silica sheet), yang digambarkan sebagai bentuk trapesium memanjang (Gambar 2.1).

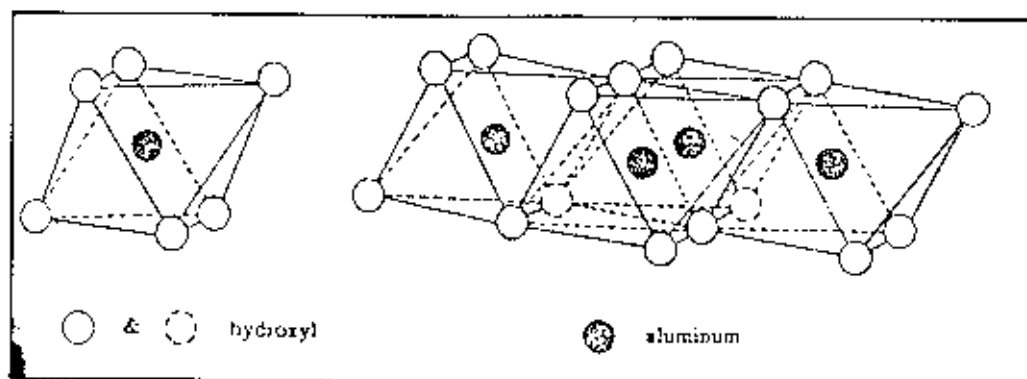
Sedangkan unit Aluminium Octahedra terdiri dari 1 atom Aluminium atau penggantinya seperti Magnesium (Mg), Fe, Ti, Ni, dan Cr (misal pada Brucite sheet) yang dikelilingi oleh 6 gugusan ion Hidroksil (OH). Kombinasi dari unit-unit Aluminium Octahedra membentuk lembaran Octahedra (Octahedra sheet), yang digambarkan sebagai bentuk persegi panjang (Gambar 2.2). Lembaran Octahedra (Octahedra sheet) disebut juga lembaran Gibbsite (Gibbsite sheet) apabila logam utamanya yang dominan adalah Aluminium. Sedangkan lembaran Octahedra disebut juga lembaran Brucite (Brucite sheet) apabila logam utama yang dominan adalah Magnesium.

Pada Silica sheet masing-masing atom Silica mempunyai valensi positif, sedangkan pada atom Oksigennya bervalensi

negatif. Akibat ikatan-ikatan yang terjadi membentuk kombinasi susunan Tetrahedra sheet dan Octahedra sheet, maka terjadilah suatu keseimbangan. Kedua kristal dasar tersebut mempunyai sifat kecenderungan menjadi ikatan yang stabil (netral), yaitu apabila mempunyai kelebihan muatan listrik cenderung untuk melepaskannya dan kristal yang kekurangan muatan listrik cenderung bersifat menerima muatan listrik yang berupa ion-ion bebas.



Gambar 2.1. Lembaran Silica (Silica sheet).



Gambar 2.2. Lembaran Octahedra (Octahedra sheet).

Dengan adanya prinsip netralisasi tersebut timbul beberapa variasi gabungan antara kristal-kristal dasar utama mineral lempung, dan dalam hal ini dapat dikelompokkan menjadi beberapa type (Grim, 1968), yaitu :

-- Mineral type 1 : 1

Pada mineral type 1 : 1 satu tetrahedral sheet bergabung dengan satu Octahedral sheet membentuk mineral-mineral lempung seperti Kaolinite, Halloysite, Serpentine, dan lain sebagainya.

Mineral type 1 : 2 dikenal sebagai group Kaolinite, Bentuk diagram satu unit lapisan struktur dasar mineral type 1 : 1 adalah :



-- Mineral type 2 : 1

Pada mineral type 2 : 1 satu Octahedral sheet diposit oleh dua Tetrahedral sheet dan membentuk mineral-mineral lempung seperti group mineral Mica dan group mineral Smectite, Group mineral Mica antara lain :

-- Illite

-- Muscovite

-- Vermiculite, dan lain sebagainya.

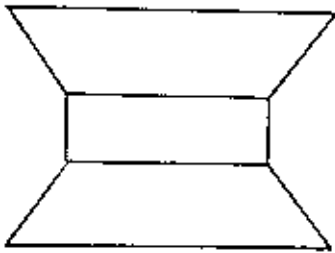
Sedangkan group mineral Smectite antara lain :

- Montmorillonites

- Saponites

- dan lain sebagainya.

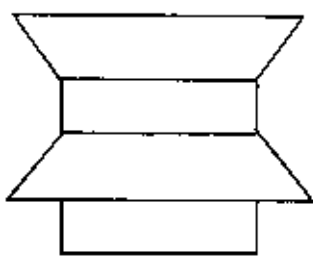
Bentuk diagram satu unit lapisan struktur dasar mineral type 2 : 1 adalah :



- Mineral type 2 : 1 :

Bentuknya merupakan struktur mineral 2 : 1 ditambah satu Octahedra sheet dan membentuk mineral lempung seperti Chlorite, dan lain sebagainya.

Bentuk diagram satu unit lapisan struktur dasar mineral type 2 : 1 adalah :



Ikatan antar sheet dalam setiap unit lapisan struktur dasar relatif sangat kuat. Jenis mineral 2 : 1 tidak dapat

pecah menjadi jenis mineral 1 : 1 ditambah dengan tetrahedra sheet; demikian juga dengan jenis-jenis mineral lainnya.

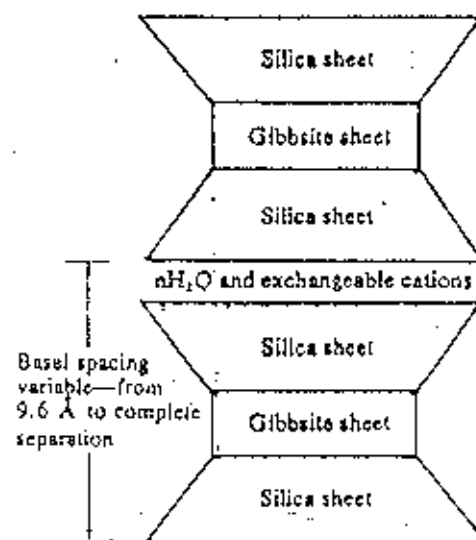
Pada jenis mineral 1 : 1 ikatan antar unit lapisan struktur dasarnya relatif lebih kuat sehingga membentuk susunan kristal yang tetap dengan jarak antar unit sekitar 7.2 \AA° ($1 \text{ \AA}^{\circ} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$). Hal ini hampir serupa dengan mineral type 2 : 1 : 1 yang jarak antar unit adalah tetap sebesar 14 \AA° .

Beberapa contoh jenis mineral lempung yang biasa dijumpai antara lain :

- Mineral Montmorillonite
- Mineral Kaolinite
- Mineral Illite
- Mineral Vermiculite

Montmorillonite adalah nama yang diberikan untuk suatu mineral lempung yang dijumpai di Montmorillon (Perancis, 1847). Mineral lempung Montmorillonite termasuk golongan mineral type 2 : 1. Struktur dasarnya terdiri dari satu lembaran Gibbsite yang diapit dua lembaran Silica (Gambar 2.3). Ikatan antar lapisan pada mineral lempung Montmorillonite terutama diakibatkan oleh gaya Van der Waals, sehingga ikatannya sangat lemah. Pada mineral Montmorillonite terjadi penggantian suatu logam kation di tengah-tengah lapisan (isomorphous substitution) antara atom-atom Magnesium dan

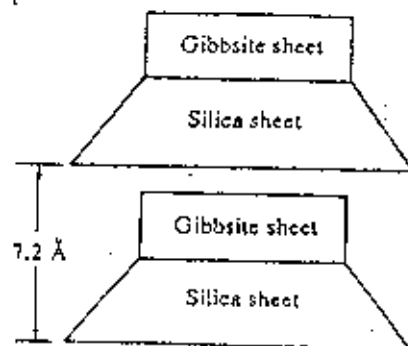
besi yang menggantikan sebagian atom-atom ion Kalium (K), dan sejumlah besar molekul tertarik pada ruangan diantara lapisan-lapisan tersebut. Partikel Montmorillonite mempunyai dimensi mendatar dari 1000 \AA sampai 5000 \AA dengan ketebalan 10 \AA sampai 50 \AA dan specific surfacenya sekitar $800 \text{ m}^2/\text{gr}$.



Gambar 2.3. Struktur dasar mineral Montmorillonite

Struktur mineral Kaolinito terdiri dari tumpukan lapisan-lapisan dasar lembaran-lembaran kombinasi Silica ditambah Gibbsite seperti terlihat pada Gambar 2.4. Tumpukan lapisan Silika dan Gibbsite menghasilkan mineral dengan type 1 : 1. Tumpukan lapisan-lapisan tersebut diikat oleh ikatan Hidrogen. Mineral Kaolinite berwujud seperti lempengan-lempengan

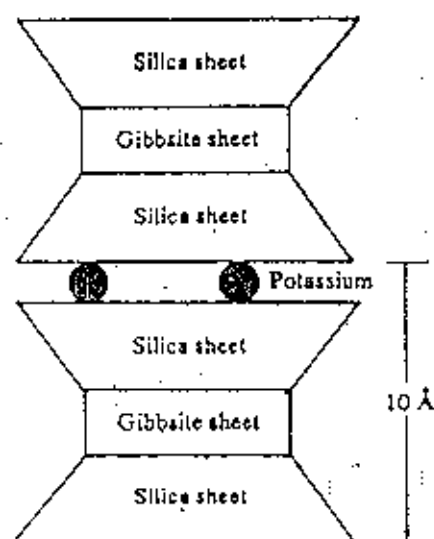
tipis, masing-masing mempunyai diameter berkisar 1000 \AA sampai 70000 \AA dengan ketebalan dari 100 \AA sampai 1000 \AA . Specific surface partikel Kaolinite adalah sekitar $15 \text{ m}^2/\text{gr}$.



Gambar 2.4. Struktur dasar mineral Kaolinite.

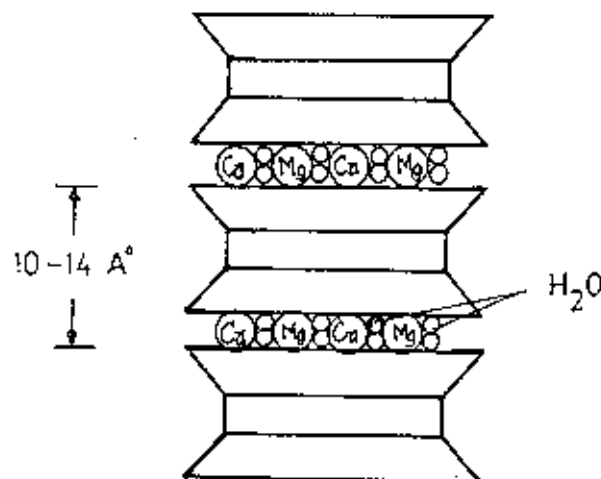
Illite adalah istilah umum untuk kelompok tanah lempung yang pertama kali dijumpai di Illinois, Amerika Serikat. Mineral lempung Illite terdiri dari lapisan Gibbsite Octahedra yang terletak diantara dua lapisan Silica Tetrahedra. Mineral lempung Illite termasuk mineral type 2 : 1. Lapisan-lapisan Illite terikat satu sama lain oleh ion-ion Kalium (K^+ ion Potassium). Muatan negatif yang diperlukan untuk mengikat ion-ion Kalium tersebut didapat dari adanya penggantian sebagian atom Silica pada lembaran Octahedra oleh atom-atom Aluminium. Penggantian (substitusi) dari sebuah elemen oleh elemen lainnya tanpa mengubah bentuk kristal utamanya disebut substitusi isomorf (isomorphous substituti-

on). Partikel-partikel Illite pada umumnya mempunyai dimensi mendatar berkisar antara 1000 \AA° sampai 5000 \AA° (berbentuk lempengan-lempengan tipis) dan ketebalannya dari 50 \AA° sampai 500 \AA° . Specific surface dari partikel Illite adalah sekitar $80 \text{ m}^2/\text{gr}$. Gambar 2.5 memperlihatkan struktur dasar mineral Illite.



Gambar 2.5. Struktur dasar mineral Illite.

Vermiculite merupakan mineral lempung dalam keluarga Illite yang mempunyai struktur sama, kecuali molekul air diantara lapisan-lapisan dasarnya diselang-selingi dengan ion-ion Kalsium (Ca) atau Magnesium dengan substitusi oleh Brucite sebagai pengganti Gibbsite di dalam lapisan Octahedronya. Gambar 2.6 memperlihatkan struktur dasar mineral Vermiculite.



Gambar 2.6. Struktur dasar mineral Vermiculite

2.1.3. Interaksi Antara Air Dan Mineral Lempung

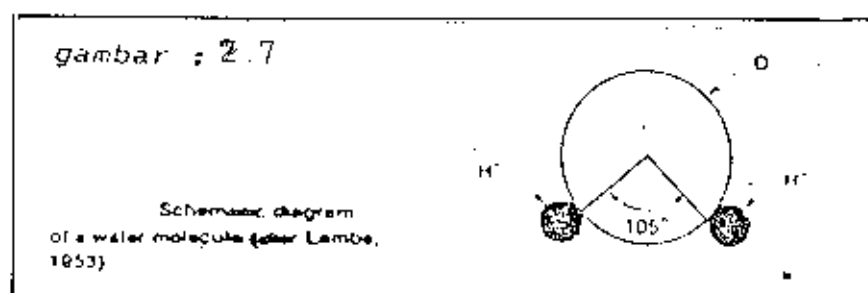
Sekarang kita ketahui bahwa pada umumnya air tidak begitu berpengaruh pada sifat Granular soil (berbutir kasar). Misalnya pada pengujian shear strenght (kekuatan geser) dapat diketahui bahwa dalam keadaan dry hampir sama dengan keadaan saturated. Tetapi pada Fine grained soils (tanah berbutir halus) tidak demikian, air sangat mempengaruhi kekuatannya. Ini disebabkan karena specific surface dari mineral lempung (clay mineral) adalah besar.

Specific surface (luas permukaan) suatu benda dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara luas permukaan dan massa benda tersebut. Perumusan dari specific surface adalah :

$$\text{SPECIFIC SURFACE} = \frac{\text{LUAS PERMUKAAN}}{\text{MASSA BENDA}} \quad (\text{m}^2/\text{gr})$$

Berdasarkan perumusan di atas dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran butiran tanah maka semakin besar nilai specific surfacenya. Dengan demikian maka dalam mengeringkan tanah berbutir halus lebih sulit dibandingkan dengan tanah berbutir kasar, dan untuk membasahi tanah berbutir halus diperlukan banyak air dari pada tanah berbutir kasar.

Molekul air (H_2O) yang terbentuk dari gugusan atom H - O - H seperti pada Gambar 2.7, mempunyai jenis ikatan Primary bond (ikatan primer) yaitu suatu ikatan yang relatif kuat sekali.

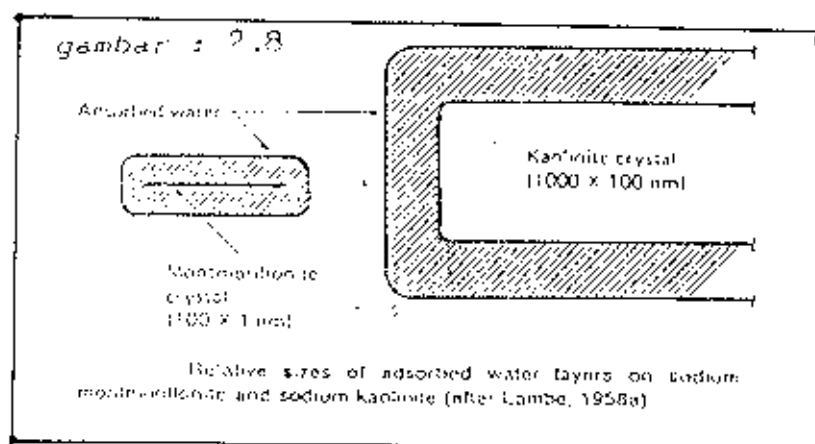


Dengan kondisi dipole (dua kutub) dari air, maka molekul air yang terikat/tertarik pada ion-ion yang ada di dalam larutan tanah menyebabkan ion Hydration atau penyelubungan ion-ion oleh molekul air. Karena ion Hydration molekul air yang dekat dengan ion negatif (anion) mempunyai kecenderungan

lebih rigid dan immobile (sulit bergerak). Hal ini dapat dijelaskan karena molekul air yang dekat dengan permukaan anion menjadi highly structured (membentuk struktur kristal), sehingga tenaga geraknya kecil sekali. Peristiwa tarik menarik listrik yang terjadi antara kation dari air dengan anion yang berasal dari tanah dapat menentukan sifat tanah tersebut.

Contoh :

Ukuran partikel Montmorillonite lebih kecil dibandingkan dengan Kaolinite, maka Montmorillonite mempunyai plastisitas, activity, muai (swelling) dan susut serta perubahan volume yang besar jika dibandingkan terhadap Kaolinite. (Gambar 2.8 mengenai diffuse double layer).



Batasan terakhir pada masalah interaksi air dan mineral lempung adalah konsep diffuse double layer. Diffuse double layer adalah suatu keadaan dimana distribusi muatan pada

2.2. MEKANISME PENYUSUTAN DAN PENGEMBANGAN PADA TANAH LEMPUNG

2.2.1. U m u m

Tidak semua alam di negeri kita ini memberikan kondisi yang baik, dengan kata lain ada satu daerah yang mempunyai kondisi yang baik sehingga dengan keberadaannya tidak banyak menimbulkan masalah pada beberapa pekerjaan di bidang konstruksi sipil. Tetapi sebaliknya ada beberapa wilayah dengan kondisi tanah yang jelek sehingga perlu penanganan yang cermat dan berhati-hati dalam membuat suatu pekerjaan konstruksi. Salah satu masalah yang berkaitan dengan kondisi tanah yang jelek tersebut adalah pengaruh kembang-susut pada tanah lempung.

Menurut uraian dari Indrasurya (1992), ciri-ciri dari tanah yang mempunyai kembang-susut besar adalah adanya perbedaan (perbedaan) volume yang besar pada tiap-tiap musim. Tanah menjadi mengembang dalam musim hujan dan menyusut pada musim kering. Besarnya pengembangan dan penyusutan dari tanah biasanya tidak merata (tidak sama) dari titik satu dengan titik yang lainnya. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan ketinggian dari permukaan tanah yang semula adalah rata.

Terjadinya "diferential movement" (perbedaan dalam pergerakan muai-susut tanah) tersebut menyebabkan banyak keru-

gian karena kerusakan-kerusakan pada bangunan seperti :

- Terjadinya retak retak pada jalan raya yang baru saja mengalami perbaikan.
- Kemungkinan miringnya abutment jembatan karena pengembangan tanah dibelakangnya.
- Retaknya dinding tembok rumah batu rumah dan kadang merekah lebar melebar.
- Lantai rumah yang semula rata menjadi bergelombang.
- Dan lain-lain.

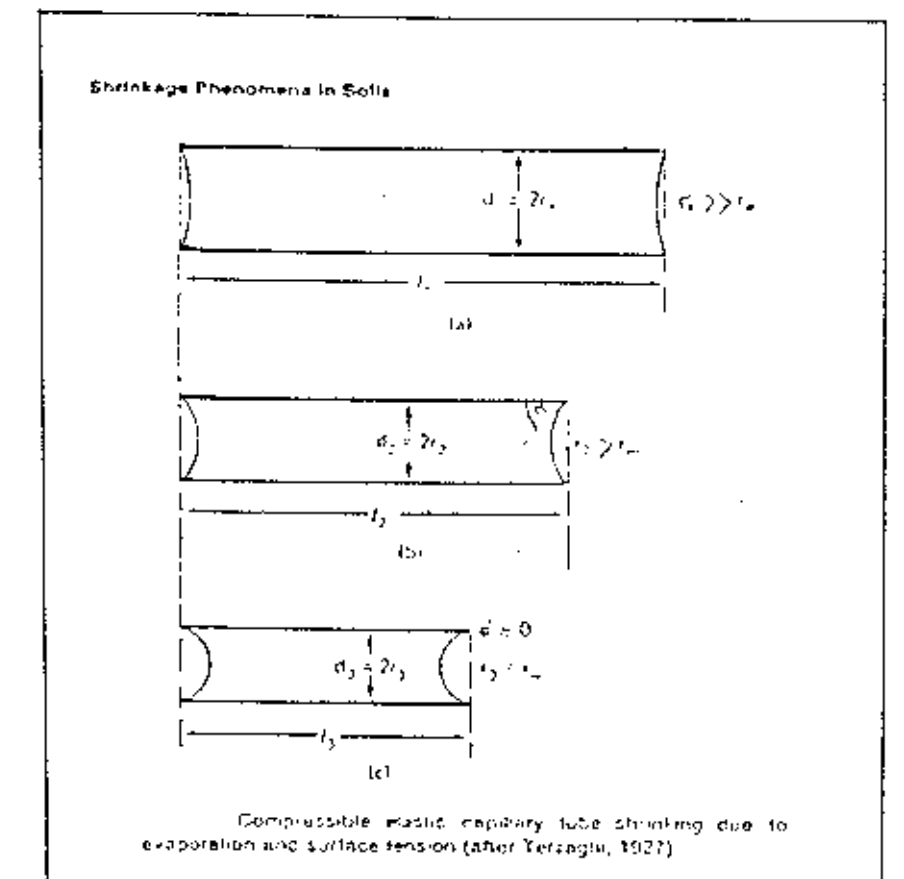
2.2.2. Mekanisme Penyusutan (Shrinking) Pada Tanah Lempung.

Proses penyusutan (Shrinkage) tanah sebagian besar terjadi karena peristiwa kapiler, dimana pada penurunan kadar air dalam proses mengering dari tanah akan diikuti segera dengan kenaikan tajam dari tegangan efektif antar butiran.

Kapileritas muncul (timbul) dari sifat fluida yang mempunyai sifat surface tension (permukaan cekung), dimana kejadian ini dapat terjadi pada permukaan dua material yang berbeda. Dalam tanah kejadiannya antara permukaan air, mineral butiran dan udara. Pada dasarnya gaya tarik permukaan adalah hasil dari perbedaan gaya tarik menarik antara permukaan material.

Terzaghi (1927) mengadakan penelitian tentang tegangan kapiler yang disebabkan oleh shrinkage pada tanah (clay)

dengan menggunakan suatu analogi seperti dibawah ini (lihat Gambar 2.10),



Gambar 2.10. Peristiwa shrinkage dalam tabung Terzaghi.

Gambar 2.10.a : Tabung horizontal elastis diisi air penuh dalam keadaan miniskus yang kecil sekali (dibandingkan dengan jari-jari tabung r_1).

Gambar 2.10.b : Air dalam tabung tersebut kemudian diuapkan,

tegangan permukaan air menurun dan miniskus mulai terbentuk sudut α .

Gambar 2.10.c : Penguapan dilanjutkan terus, sehingga jari-jari miniskus menjadi lebih mengecil lagi, tegangan tekan pada dinding naik mengakibatkan tabung elastis menyusut (pada arah panjang dan diameternya). Pada saat jari-jari miniskus minimum ($r_{\text{miniskus}} = r_s$) tegangan kapiler pada dinding tabung ialah :

$$U_c = \frac{-2 T}{r_m} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

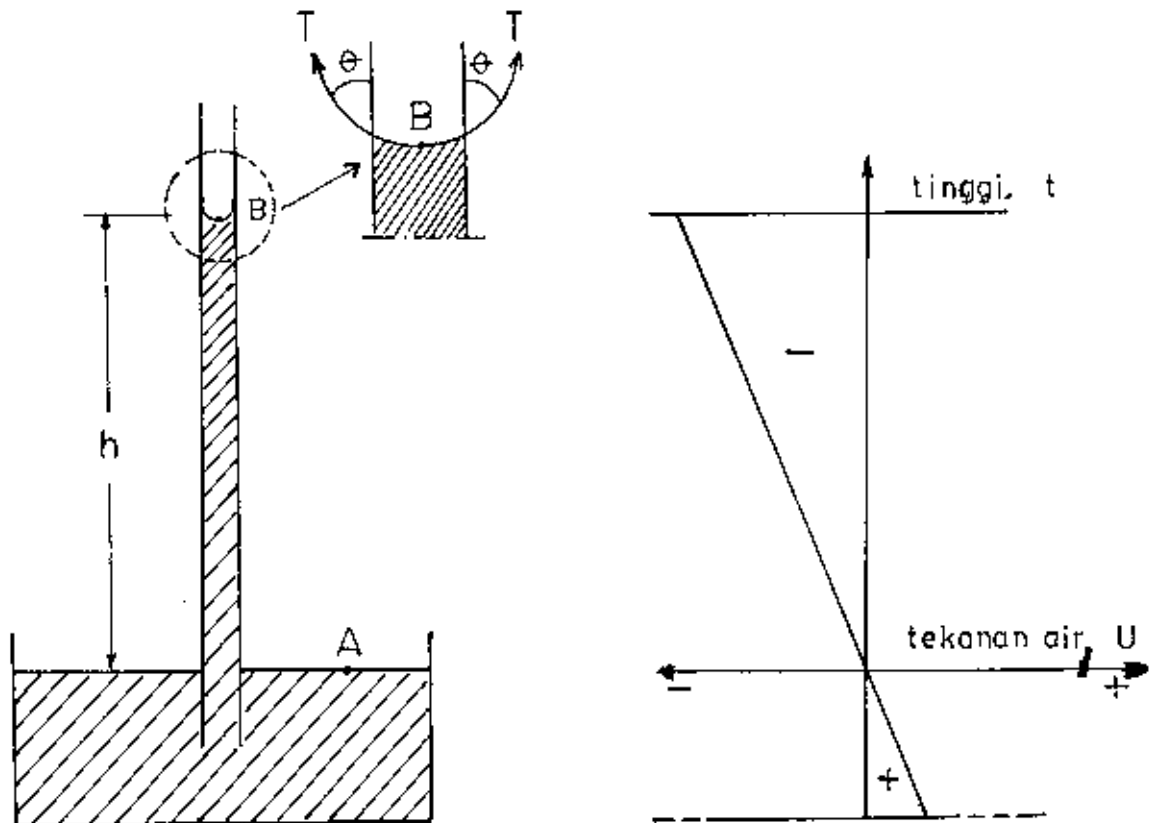
dimana : T = tegangan permukaan.

r_m = jari-jari miniskus.

dan dinding tabung elastis menjadi menyusut. Jika tabung dimasukkan kedalam air, miniskus dan tabung elastis mengembang seperti bentuknya semula, hal ini disebabkan adanya gaya kapiler yang bekerja pada dinding elastis tersebut.

Akibat kapileritas tersebut maka air naik dan membentuk miniskus atau cekungan ke atas pada sudut tabung kapiler.

Tegangan permukaan yang membentuk miniskus pada peristiwa kapiler tersebut sangat berpengaruh dalam menciptakan tegangan kapiler seperti yang terlihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Peristiwa kapiler pada pipa sempit.

Tinggi kenaikan air dalam tabung kapiler dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$h_c = \frac{4 T \cos \alpha}{\rho_v \times g \times d} = \frac{4 T \cos \alpha}{\gamma_v d} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

h_c = tinggi kenaikan air dalam tabung kapiler dari permukaan cairan dalam tabung.

γ = Tegangan permukaan cairan

α = sudut sentuh antara permukaan air dengan dinding

tabung kapiler

d = diameter tabung kapiler.

Di dalam permukaan air, tegangan air naik secara linear (sebanding dengan gaya hidrostatis). Sedangkan di atas permukaan air (di dalam tabung kapiler) tegangan air kapiler adalah negatif. Ini dapat dijelaskan, misalkan titik A (gambar 2.11) yang berada di permukaan air mempunyai tekanan sama dengan tekanan udara luar, maka tegangan air kapiler di titik B (setinggi h_c) adalah :

$$p_{cg} = p_{ca} - p_c$$

..... (2.5)

dimana :

p_{cg} = tekanan permukaan air di titik B (setinggi h_c)

p_{ca} = tekanan permukaan air di titik A

h_c = tinggi kenaikan air dalam tabung kapiler.

Untuk air pada umumnya harga $\alpha = 0$ dan $\gamma = 1 \text{ gr/cm}^2$

sedangkan bila dianggap $U_{cA} = 0$, maka akan didapat :

$$h_c = \frac{4 T}{d} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$U_{cB} = \frac{- 4 T}{d} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Jadi tegangan permukaan air di titik B adalah negatif dan harga mutlaknya membesar dengan mengecilnya diameter tabung. Jika diameter tabung dibuat lebih kecil, air tidak dapat naik sebab permukaan gelembung cekungan tidak terbentuk. Naiknya kapileritas pada tabung dengan diameter kecil mewakili ukuran pori tanah.

Tegangan efektif antar butiran tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma' = \sigma - U \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

σ' = tegangan efektif antar butiran tanah

σ = tegangan total tanah

U = tegangan air pori.

Biasanya di alam void (rongga-rongga dalam tanah) sangat banyak sehingga air dapat dengan mudah mengisi rongga-rongga tersebut dan membentuk gelembung-gelembung miniskus, lalu

meniskus mempengaruhi struktur tanah. Kenaikan tinggi kapilaritas dapat dikurangi dengan pemilihan material yang cukup baik maupun dengan usaha stabilisasi.

Anggapan perumusan tegangan kapiler di atas (U_c) di atas adalah pada kondisi jenuh (saturated) tetapi karena tidak selamanya kondisi yang kita temukan jenuh maka perlu kiranya memberikan suatu faktor, dan perumusannya menjadi :

$$U_c = - \frac{S_r}{100} \times \gamma_w \times h_c \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

S_r = derajat kejenuhan (%)

Pada saat tanah tidak jenuh, tegangan efektif antar butiran tanah tersebut membesar melebihi tegangan efektif mula-mula. Hal ini disebabkan harga tegangan air pori (U) pada peristiwa kapiler membesar dengan harga negatif. Sebagai akibatnya massa tanah seolah-olah tertekan, sehingga volumenya cenderung menyusut. Peristiwa penyusutan tanah umumnya terjadi pada musim kemarau, di mana kadar air dalam tanah menjadi berkurang dan tegangan kapiler menjadi membesar. Hal ini menyebabkan makin besar penambahan harga tegangan efektif tanah (σ') sehingga tanah mengalami penyusutan (shrinkage).

2.2.3. Mekanisme Pengembangan (Swelling) Pada Tanah Lempung. Seperti halnya dengan penyusutan tanah, maka pengembangan (swelling) tanah juga merupakan proses perubahan volume tanah. Pengembangan tanah merupakan proses yang lebih kompleks dari pada proses penyusutan.

Menurut Karmonik dan David (1969) pengembangan dari tanah disebabkan oleh dua hal, yaitu :

a. Sebab mekanis

Peristiwa pengembangan tanah (swelling of soil) merupakan kebalikan dari peristiwa kapiler. Pada tanah jenuh (kadar air naik) tegangan kapiler negatif dan tegangan air pori menjadi sama dengan tegangan hidrostatik biasa. Hal ini menyebabkan tegangan antar butiran tanah (σ') menurun dan tanah cenderung untuk mengembang kembali ke volume semula.

b. Sebab fisika kimia

Pengembangan pada tanah terjadi karena masuknya air di antara partikel-partikel mineral lempung jenis Montmorillonite yang menyebabkan bertambahnya jarak antar unit lapisan struktur dasar. Kondisi ini dapat terjadi pada saat kadar air dalam tanah naik. Hal yang hampir sama tetapi dalam skala yang lebih kecil juga dapat terjadi bila mana tanah mengandung mineral Vermiculite dan Illite.

Besar kembang susut untuk masing-masing tanah lempung tidak sama, tergantung pada jenis mineral yang dikandungnya. Tanah lempung yang mengandung jenis mineral Kaolinite akan mengembang dan menyusut relatif lebih kecil daripada tanah lempung yang mengandung jenis mineral Montmorillonite atau mineral-mineral jenis smectite group. Komposisi tanah asli biasanya terdiri dari campuran bermacam-macam mineral tersebut. Selain itu besarnya nilai swelling (juga shrinking) dari tanah tergantung banyaknya kation-kation bebas dalam tanah. Kation-kation yang bermuatan positif tersebut berfungsi sebagai pengikat antar partikel-partikel tanah yang bermuatan negatif dan melawan kecenderungan mengembang dari partikel-partikel itu sendiri. Sehingga didapatkan struktur tanah yang lebih "kokoh" dan mengurangi pengembangan tanah. Semakin banyak kation-kation yang terkandung dalam tanah biasanya akan mengakibatkan makin kecil nilai kembang-susut tanah tersebut.

Kembang susut tanah juga dipengaruhi oleh struktur susunan matriks dari partikel-partikel tanah tersebut. Struktur matriks yang "rapat" dan "kokoh" (biasanya dapat dilihat dari nilai angka pori yang rendah) menghasilkan ketahanan yang kuat terhadap perubahan volume karena peristiwa kapiler. Jadi kembang-susut karena peristiwa kapiler (sebab mekanis) relatif lebih kecil dari pada kembang-susut pada

tanah yang mempunyai angka pori yang besar.

Akhirnya dapat diketahui dengan jelas bahwa mekanisme kembang-susut hanya terjadi pada tanah berbutir halus saja, terutama pada tanah lempung (clay). Pada tanah berpasir dan campuran pasir, atau tanah lanau (silt), sifat kembang-susut umumnya kecil.

2.3. ALTERNATIF PERBAIKAN PADA TANAH MENGEMBANG (SWELLING)

Dalam rangka mencegah terjadinya kembang susut yang besar dari tanah dasar, maka perlu diketahui tentang penyebab dan proses terjadinya kembang-susut tanah. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kembang-susut tanah terutama terjadi karena adanya perubahan kadar air pada tanah yang mengandung mineral-mineral lempung tertentu.

Menurut Indrasurya (1992) pemecahan masalah pada tanah mengembang harus dilakukan dua pendekatan yaitu :

1. Mencegah terjadinya pengembangan-penyusutan yang besar dari tanah itu sendiri.
2. Merubah (memodifikasi) bentuk bangunan di atasnya, sehingga dapat mentolerir adanya kembang-susut tanah yang besar.

Sehingga alternatif cara pemecahannya harus dilakukan melalui pendekatan yang sesuai, yaitu pada pokoknya :

- a. Mencegah terjadinya perubahan kadar air dalam tanah.

- b. Memperbaiki sifat yang "merusak" dari tanah dasar.
- c. Memberikan beban yang cukup besar pada permukaan tanah untuk melawan tekanan mengembang dari tanah.

2.3.1. Mencegah Perubahan kadar Dalam Tanah.

Cara ini secara umum dapat berupa tindakan-tindakan sebagai berikut :

- 1). Mencegah perubahan kadar air dengan menutup (cover) permukaan tanah dengan lapisan/bangunan kedap air. Tujuan utamanya adalah untuk mencegah infiltrasi secara langsung dari air hujan ke dalam tanah yang berlebihan selama musim kemarau. Dengan demikian kadar air dalam tanah diharapkan tidak banyak berubah sepanjang tahun, sehingga pengaruh kembang-susut menjadi kecil.

- 2). Menjaga kadar air tanah selalu basah (sedapat mungkin selalu jenuh air) sepanjang tahun.

Cara ini dilakukan dengan sistem "ponding", yaitu mengalirkan air ke dalam tanah sedemikian rupa sehingga tanah selalu terendam air/basah.

Cara lainnya merupakan gabungan dan pengembangan dari kedua cara tersebut.

2.3.2. Memperbaiki Sifat-Sifat Dari Tanah Dasar.

Cara ini disebut juga sebagai Soil Stabilization (stabilisasi tanah). Terdapat dua cara pokok, yaitu :

- 1). Stabilisasi Kimia (Chemical Stabilization).

Cara yang umum dilakukan adalah :

a). Stabilisasi dengan kapur (Lime Stabilization).

Seperti yang telah diuraikan terdahulu, Cation-cation Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan kapur dapat berfungsi sebagai penetrasian dari sifat-mengembang tanah. Disamping itu kapur juga menyebabkan terjadinya proses semen-tasi antar butiran tanah sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar dan muatan permukaan yang relatif lebih kecil. Sebagai akibatnya adalah peningkatan dari tanah berkurang dan kemampuan menahan berkurang. Belum lagi termasuk naiknya kekuatan tanah dasar karena stabilisasi kimia ini.

b). Stabilisasi dengan garam (Salt stabilization).

Yaitu dengan menambahkan garam-garam kepada tanah. Garam dapur misalnya ($NaCl$) banyak mengandung Cation-cation Na .

c). Stabilisasi dengan semen (Cement stabilization).

Sama seperti stabilisasi dengan kapur dan garam, semen (PC) disamping memberikan tambahan Cation-cation kepada tanah, juga sering utama untuk sementasi

(mengikat) butiran-butiran tanah menjadi lebih kaku, butiran membesar, plastisitas turun dan otomatis sifat kembang susut juga turun.

d). *Stabilisasi dengan aspal (Bituminous stabilization)*. Aspal atau bahan bitumen berfungsi untuk menutup permukaan port-port didalam tanah sehingga air tidak dapat masuk ke port-port tersebut. Dengan demikian mekanisme swelling dan shrinking pada tanah tidak dapat berlangsung.

Dari ketiga cara stabilisasi diatas, stabilisasi kapur merupakan cara yang paling umum (paling efektif dan relatif murah) dibanding dengan cara stabilisasi kimia yang lain.

2). Stabilisasi Mekanis (Mechanical Stabilization).

Cara ini pada pokoknya berupa :

a). Mencampur tanah dasar dengan tanah yang "baik" (tidak mengembang).

Hal ini dapat dilakukan dengan mencampurkan pasir atau pasir dengan jumlah sedemikian rupa sehingga kembang-susut tanah asli berkurang banyak.

b). Memadatkan tanah dasar (Soil compaction).

Seperti yang telah dijelaskan, tanah yang padat dengan susunan struktur matriks yang lebih kokoh mengurangi pemampatan-pemampatan pada tanah, ataupun misalnya tegangan kapiler dan osmotis yang terjadi

tetap sama besar.

Stabilisasi mekanis untuk tanah kembang-susut yang besar tidak terlalu efektif, sebab diperlukan kuantitas tanah asli yang cukup besar untuk pencampuran dan juga pemadatan hanya menurunkan sedikit saja sifat kembang-susut dari tanah. Tidak banyak gunanya kalau kembang susut tanah tersebut awalnya sudah besar.

2.3.3. Pemberian Beban Perlawanan (Counter Weight) Terhadap Tekanan Mengembang (Swelling Pressure) Dari Tanah.

Cara ini dilakukan dengan memberikan timbunan yang tebal di atas tanah; kemudian konstruksi didirikan diatas tanah timbunan tersebut. Diharapkan beban ini dapat mencegah naiknya permukaan tanah dasar akibat pengembangan.

Cara ini tidak cukup efektif untuk tanah yang mempunyai sifat kembang-susut besar. Swelling pressure (tekanan mengembang) dari tanah lempung dapat mencapai 88 KPa (kira-kira 80 atmosfer) atau kira-kira sama dengan tanah setebal 40 sampai 50 meter.


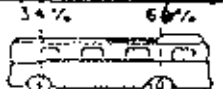
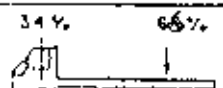
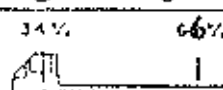
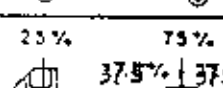
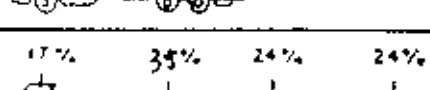
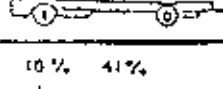
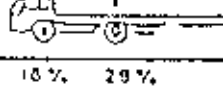
Jadi penimbunan hanya mengurangi sebagian kecil saja dari "swelling pressure" (Holtz and Kovacs, 1981). Sebenarnya penimbunan mempunyai faedah untuk meratakan akibat dari "differential heave" (pengembangan tidak merata/sama) kepermukaan yang lebih luas.

2.4. EKIVALENSI BEBAN GANDAR

Pada kenyataannya perkerasan jalan akan dilalui oleh berbagai macam lalu lintas kendaraan yang biasanya disebut dengan lalu lintas campuran (mixed traffic). Berbagai-bentuk dan jenis kendaraan mempunyai beban gandar yang berbeda satu sama lainnya. Untuk itu dengan berbagai jenis pembebanan dari lalu lintas campuran tersebut perlu dilakukan suatu angka ekuivalen terhadap beban gandar standar yang dapat mewakili. Angka ekuivalen beban gandar standar dimaksudkan sebagai suatu faktor pembanding dari beban tertentu terhadap suatu beban gandar standar.

Menurut Bina Marga (1981) sistem pengelompokan jenis kendaraan menurut jenis dan konfigurasi gandarnya seperti pada Gambar 2.12. Sebagai asumsi, pada perhitungan tebal perkerasan untuk semua metode konfigurasi dan berat beban gandar digunakan seperti pada Gambar 2.12 tersebut. Sehingga masing-masing jenis kendaraan mempunyai asumsi beban gandar yang sama pada semua metode.

Menurut AASHTO (1986) perencanaan tebal perkerasan jalan raya didasarkan atas metode satuan lintasan beban gandar kendaraan sebesar 8160 kg (18 kips) yang dikenal sebagai unit Equivalent standard Axle Loads (ESAL's). Untuk perencanaan tersebut digunakan jumlah total akumulasi ESAL's selama umur rencana perkerasan.

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	
1.1 HP	1,5	0,5	2,0	
1.2 BUS	3	6	9	 <div data-bbox="942 829 1194 917"> <p>① RODA TURKESIL PADA UJUNG BAWAH</p> <p>② RODA BAWAH PADA UJUNG BAWAH</p> </div>
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	
1.2H TRUCK	4,2	14	18,2	
1.22 TRUCK	5	20	25	
1.2 + 2.2 TRAILER	6,4	25	31,4	
1.2 - 2 TRAILER	6,2	20	26,2	
1.2 - 22 TRAILER	10	32	42	

Gambar 2.12. Konfigurasi beban gandar dan kodenya.

Korelasi dari bermacam-macam beban gandar kendaraan terhadap beban gandar standar 8160 kg telah diberikan oleh AASHTO (1986) dalam bentuk tabel-tabel, seperti pada Tabel 2.2. Angka korelasi tersebut didapat dari hasil riset lapangan oleh AASHTO Road Test. Untuk keperluan tertentu, angka ekuivalen tersebut dapat dihitung dengan perumusan empiris, atau dasar analisa hasil riset AASHTO Road Test oleh Little (1962), sebagaimana Persamaan 2.8 dan 2.9 berikut ini :

- Kendaraan gandar tunggal (single axle)

$$E = \left[\frac{\text{Beban gandar, kg}}{8160 \text{ kg}} \right]^4 \quad \dots\dots (2.8)$$

- Kendaraan gandar ganda (tandem axle)

$$E = 0,086 \left[\frac{\text{Beban gandar, kg}}{8160 \text{ kg}} \right]^4 \quad \dots (2.9)$$

dimana :

E = faktor ekuivalen

8160 kg = beban standar

0,086 = faktor untuk gandar ganda (tandem)

Tabel 2.2 (a). Faktor Ekuivalen Beban Ganda Perkerasan
Lentur, Ganda Tunggal, $pt = 2,0$ (AASHTO, 1986).

Axle Load (kip)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.030	.033	.031	.029
10	.075	.085	.080	.085	.079	.076
12	.165	.177	.180	.183	.174	.168
14	.325	.330	.324	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.53
22	2.45	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.83	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.5	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.1	53.4	47.0	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.3	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	112	103	92.	86.	81.	82

Tabel 2.2 (b). Faktor Ekuivalen Beban Ganda Perkerasan
Lentur, Ganda Ganda, $pt = 2,0$ (AASHTO, 1986).

Axle Load (kip)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0001	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	.012	.016	.016	.014	.013	.012
14	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	.041	.048	.050	.045	.042	.040
18	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	.227	.241	.260	.252	.239	.231
26	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	.447	.465	.487	.481	.458	.455
30	.607	.623	.648	.642	.627	.617
32	.810	.823	.843	.832	.820	.810
34	1.05	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.35	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.16	2.13	2.18	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.68	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.93	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.13	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77

2.5. METODE AASHTO UNTUK MERENCANAKAN TEBAL PERKERASAN

2.5.1. Persamaan Dasar.

Persamaan dasar yang digunakan AASHTO (1986) untuk perencanaan perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

$$\log W_{18} = Z_R (S_o) + 9,36 \log(SN+1) - 0,20$$

$$+ \frac{\log \frac{FSI}{4,2 - 1,5}}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log (M_R) - 8,07 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

W_{18} = Perkiraan penggunaan jumlah ekuivalen beban gandar tunggal.

Z_R = Simpangan baku.

S_o = Simpangan baku keseluruhan.

FSI = Indeks Permukaan (IP)

= Selisih antara indeks design serviceability awal (po) dan indeks design terminal serviceability (pt). Harga yang ditetapkan oleh AASHTO Road Test adalah :

po = 4,2 (untuk flexible pavement), dan

pt = 2,5 atau 3,0 untuk jalan utama,

pt = 2,0 untuk jalan raya sekunder.

M_R = Modulus resilient tanah dasar (dalam psi).

SN = Structural Number = Indeks Tebal Perkerasan.

= adalah angka struktural yang menunjukkan tebal ekuivalen perkerasan total yang diperlukan. Angka ini menunjukkan keadaan struktur dari perkerasan yang diperlukan untuk memberikan kombinasi-nasi dari daya dukung tanah (MR), total lintas yang dinyatakan dalam ekuivalen beban gandar tunggal (ESAL) 18 kips, terminal serviceability dan lain-lain.

Faktor-faktor yang dinyatakan dalam perencanaan meliputi : lintas, reliabilitas, kondisi lingkungan, tanah dasar, dan drainase.

2.5.2. Lintas Lintas.

Untuk menyatakan beban gandar yang bervariasi ke dalam bentuk satu parameter perencanaan maka diperlukan suatu faktor ekuivalen beban gandar. Faktor-faktor ekuivalensi beban mewakili perbandingan jumlah pengujian berbagai beban gandar dan susunan gandar (single, tandem, triadem) diperlukan untuk maksud pengurangan yang sama dalam Indeks Perumahan (PSI) sebagai suatu penempatan dari beban gandar tunggal 18 kips. Faktor-faktor ekuivalensi ditunjukkan dalam Lampiran B untuk susunan gandar single, tandem dan triadem, serta harga

pt sama dengan 2,0; 2,5; dan 3,0.

Prosedur perencanaan jalan volume rendah dan tinggi didasarkan pada kumulatif ekivalen beban gandar tunggal (ESAL) 18 kips selama periode analisa. Untuk memperkirakan lalu lintas yang akan digunakan pada jalur perencanaan digunakan rumus sebagai berikut :

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \bar{W}_{18} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

D_D = faktor distribusi arah.

D_L = faktor distribusi lajur.

W_{18} = kumulatif dua arah ESAL 18 kip yang diperkirakan selama periode analisa.

Untuk jalan berlajur 2 atau lebih yang digunakan untuk arah nilai D_D yang digunakan adalah 0,5. Untuk jalan satu arah harga $D_D = 1,0$. Sedangkan rentang D_L yang digunakan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Rentang Nilai D_L yang Digunakan
Menghitung W_{18} .

Jumlah lajur pada masing-masing arah	Persen ESAL 18 kip pada lajur rencana
1	100
2	80 - 100
3	80 - 80
≥ 4	50 - 75

Pada studi ini terdapat dua macam faktor pertumbuhan selama umur rencana. Sehingga untuk memperoleh jumlah kumulatif pembebanan lalu lintas dua arah pada akhir kondisi rencana selama periode analisa digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \bar{W}_{1i} = & 365 \times LHR_i \times E_i \times (1+i_1)^{N_1} \\ & \times \frac{(1+i_2)^{N_2} - 1}{i_2} \end{aligned} \quad \text{..... (2.12)}$$

dimana :

\bar{W}_{1i} = Lintas ekuivalen kumulatif pada lajur rencana.

LHR_i = Jumlah kendaraan untuk jenis tertentu i (misalkan jenis bus), dinyatakan dalam kendaraan/hari/2 arah pada tahun perhitungan volume lalu lintas

E_i = Angka ekuivalen beban sumbu untuk jenis kendaraan

i_1 = Faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan dari perhitungan volume lalu lintas dilakukan sampai saat jalan tersebut dibuka.

i_2 = Faktor pertumbuhan lalu lintas dari jalan tersebut dibuka sampai pada tahun periode analisa.

N_1 = Jumlah tahun dari saat diadakan perhitungan volume lalu lintas sampai jalan tersebut dibuka.

N_2 = Jumlah tahun periode analisa.

Pada keadaan tertentu faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana terdapat beberapa macam faktor pertumbuhan. Jika terdapat tiga macam faktor pertumbuhan selama umur rencana, maka jumlah kumulatif pembebanan lalu lintas pada akhir umur rencana dari Persamaan 2.12 berubah menjadi Persamaan 2.13 berikut :

$$\begin{aligned}
 \bar{W}_{10} &= 365 \times LHR_1 \times E_1 (F/P, i_1\%, N_1) \\
 &\times (F/A, i_2\%, N_2 + 1)^{-1} + (F/A, i_3\%, N_3 + 1)^{-1} \\
 &\times (F/P, i_2\%, N_2) + (F/A, i_4\%, N_4 + 1)^{-1} \\
 &\times (F/P, i_2\%, N_2)(F/P, i_3\%, N_3) \dots \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

dimana :

$$(F/P, i_i\%, N_i) = (1+i_i)^{N_i}$$

$$(F/A, i_i\%, N_i) = \frac{(1+i_i)^{N_i} - 1}{i_i}$$

\bar{W}_{10} = Lintas ekuivalen kumulatif pada lajur rencana.

LHR = Jumlah kendaraan untuk satu jenis kendaraan, dinyatakan dalam kendaraan/hari/2 arah pada tahun perhitungan volume lalu lintas.

E = Angka ekuivalen beban sumbu untuk satu jenis kendaraan.

i_i = Faktor pertumbuhan lalu lintas dilakukan sampai

saat jalan tersebut dibuka.

- i₂ = Faktor pertumbuhan lalu lintas dari jalan tersebut dibuka sampai pada tahun ke-x.
- i₃ = Faktor pertumbuhan lalu lintas dari tahun ke-x sampai pada tahun ke-y.
- i₄ = Faktor pertumbuhan lalu lintas dari tahun ke-y sampai pada akhir periode rencana.
- N₁ = Jumlah tahun dari saat diadakan perhitungan volume lalu lintas sampai jalan tersebut dibuka.
- N₂ = Jumlah tahun dari saat dibuka sampai pada tahun ke-x.
- N₃ = Jumlah tahun dari tahun ke-x sampai pada tahun ke-y.
- N₄ = Jumlah tahun dari tahun ke-y sampai pada akhir periode analisa.

2.5.3. Reliabilitas dan Simpangan Baku.

Reliabilitas adalah nilai probabilitas dari kemungkinan tingkat pelayanan yang dapat dipertahankan selama masa pelayanan dipandang dari sipemakai jalan. Reliabilitas adalah jaminan bahwa perkiraan beban lalu lintas yang akan memakai jalan tersebut dapat dipenuhi. Reliabilitas dinyatakan dalam tingkat reliabilitas (Level of Reliability, R). Sebagai contoh jika tingkat reliabilitas adalah 0,90 untuk konstruksi

perkerasan dimana selama umur rencana akan mengalami satu kali overlay (1 kali pembangunan baru + 2 kali overlay), maka reliabilitas untuk masing-masing tahap menjadi $(0,90)^{1/3} = 96,5 \%$. Tingkat reliabilitas diberikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Tingkat Reliabilitas, R

Fungsi jalan	Tingkat keandalan (R), %	
	Urban	Rural
Tol	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteri	80 - 99	75 - 95
kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 - 80	50 - 80

Dalam persamaan 2.10 terdapat faktor simpangan baku (Z_R) yang nilainya berhubungan dengan reliabilitas. Besarnya korelasi antara reliabilitas dan Z_R dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Simpangan baku keseluruhan (S_o) akibat dari perkiraan beban lalu lintas dan kondisi perkerasan yang dianjurkan oleh AASHTO adalah antara 0,35 - 0,45.

2.5.4. Kekuatan Tanah Dasar.

Menentukan sifat material yang digunakan untuk tanah dasar pada perencanaan perkerasan dalam cara ini adalah

dengan Modulus Resilient (MR). Nilai MR ini dapat diperkirakan dari harga CBR. Korelasi nilai MR dari Harga CBR, yaitu :

$$MR \text{ (psi)} = 1500 \times CBR \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Tabel 2.5. Korelasi Reliabilitas dengan Simpangan Baku, Z_R (AASHTO), 1986.

Reliabilitas (%)	Simpangan Baku, Z_R
50	- 0,000
60	- 0,253
70	- 0,524
75	- 0,674
80	- 0,841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,553
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,034
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

2.5.5. Drainase.

Sistem drainase dari jalan sangat mempengaruhi jalan tersebut. Tingkat kecemasan pengeringan air yang jatuh/terdapat pada konstruksi jalan raya bersama-sama dengan beban lalu lintas yang melewatinya dan kondisi permukaan jalan (kemiringan dan kedalaman lapis permukaan) sangat mempenga-

ruhi umur pelayanan jalan.

Oleh AASHTO kualitas drainase dibagi menjadi lima tingkat, dan diberikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Tingkatan Drainase.

Kualitas drainase	Waktu yg dibutuhkan untuk mengeringkan air
Baik sekali	2 jam
B a i k	1 hari
C u k u p	1 minggu
B u r u k	1 bulan
Buruk sekali	air tidak mungkin dikeringkan

2.5.6. Penentuan Tebal Perkerasan.

Persamaan berikut memberikan dasar untuk mengubah SN ke dalam ketebalan-ketebalan permukaan, base, dan subbase :

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

a_1, a_2, a_3 = Koefisien lapisan yang mewakili lapis permukaan, base dan subbase.

D_1, D_2, D_3 = Tebal lapisan permukaan, base dan subbase.

m_2, m_3 = Koefisien drainase untuk base dan subbase.

Urut-urutan perhitungan tebal masing-masing lapisan adalah dengan mempergunakan rumus sebagai berikut :

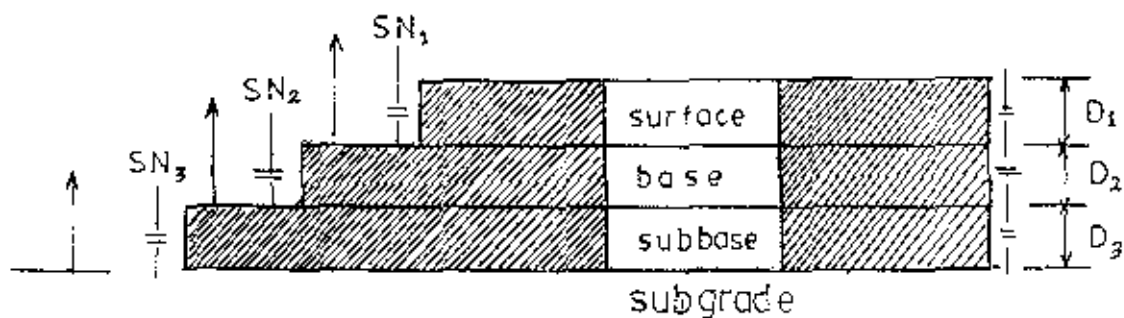
$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1 \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2^* - SN_1}{a_2 m_2} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

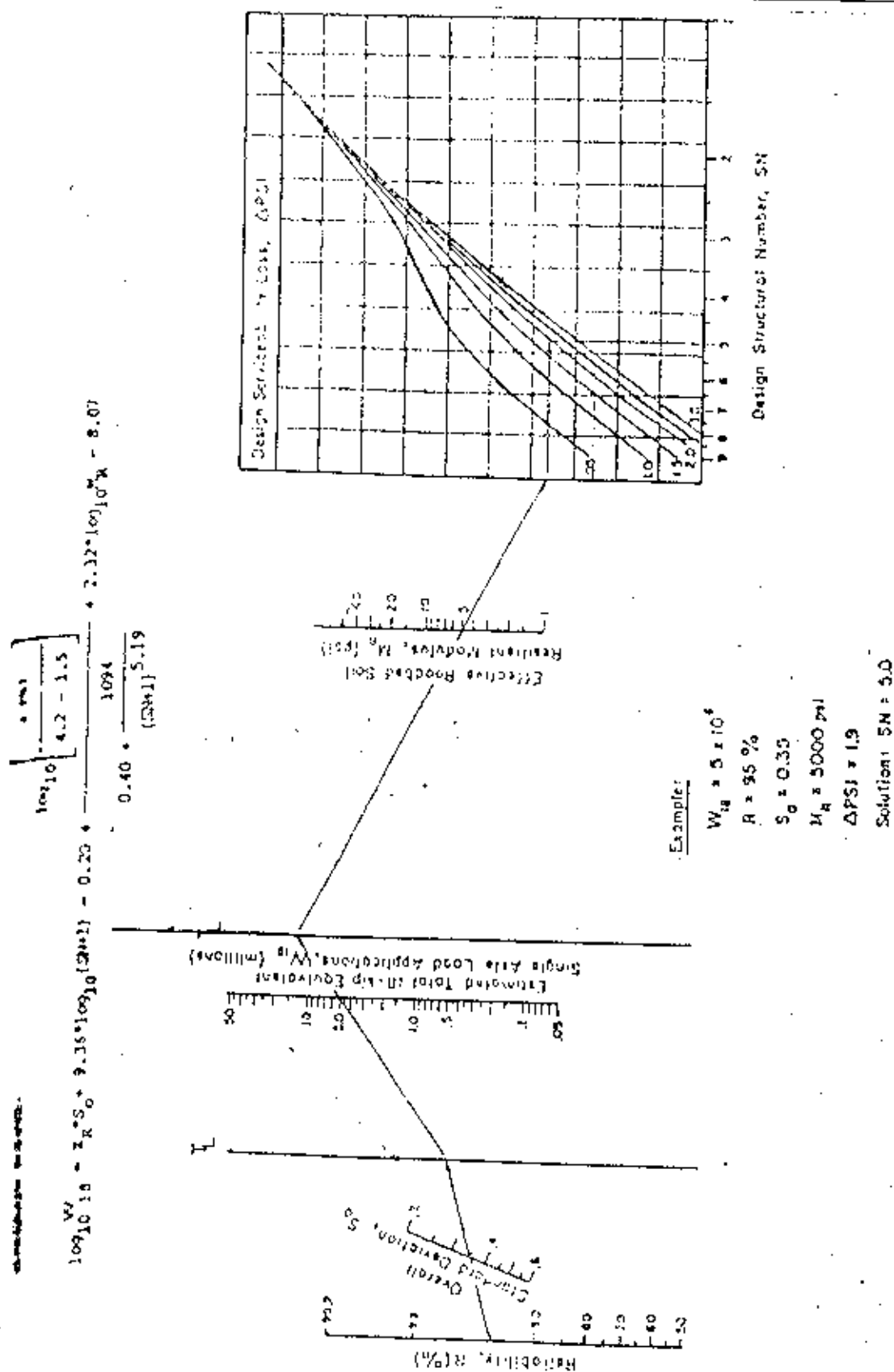
$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2 \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \quad (2.20)$$



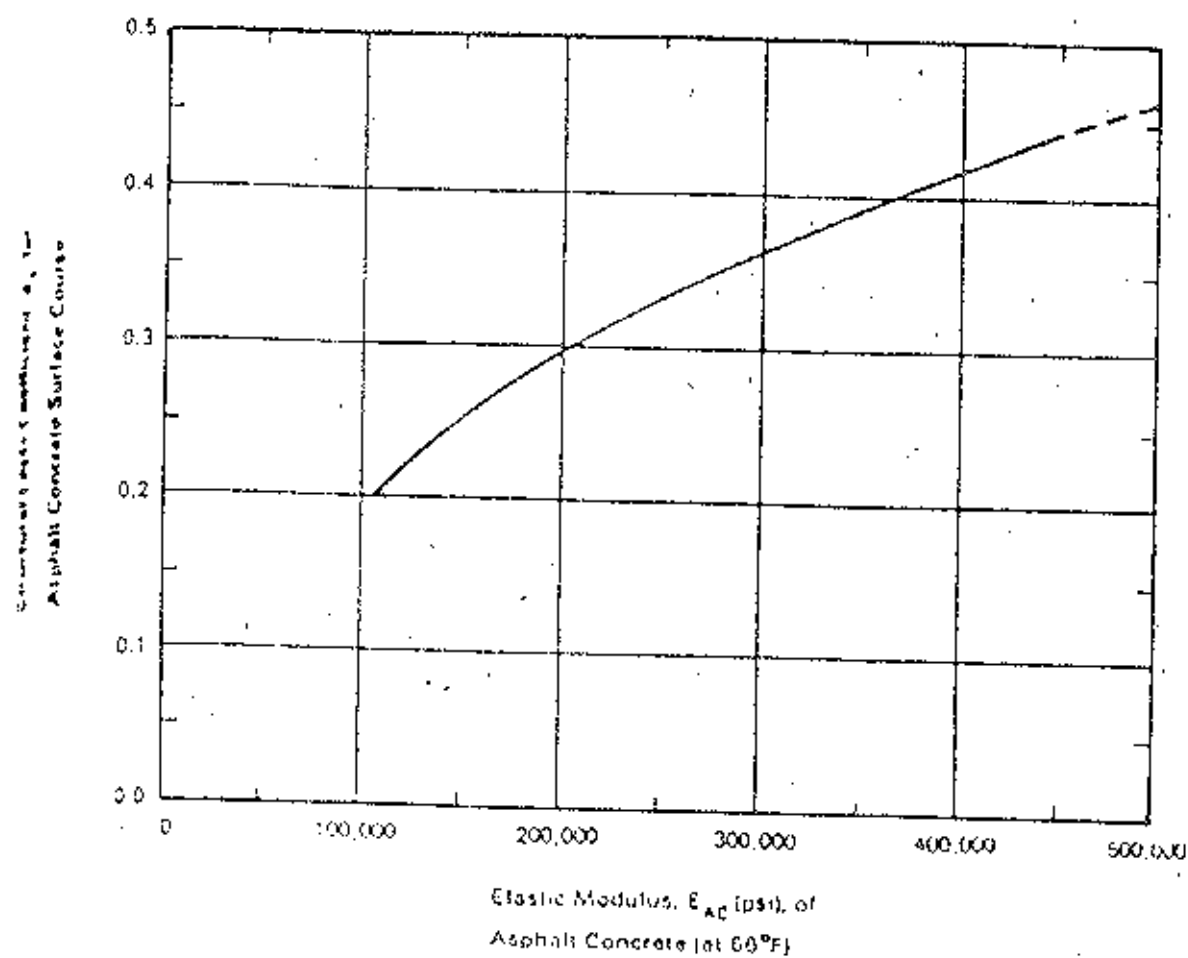
Gambar 2.15. Prosedur penentuan ketebalan lapisan.

Koefisien drainase (m) diperoleh berdasarkan kualitas drainase. Sebagaimana pada sub-bab sebelumnya telah diurai-

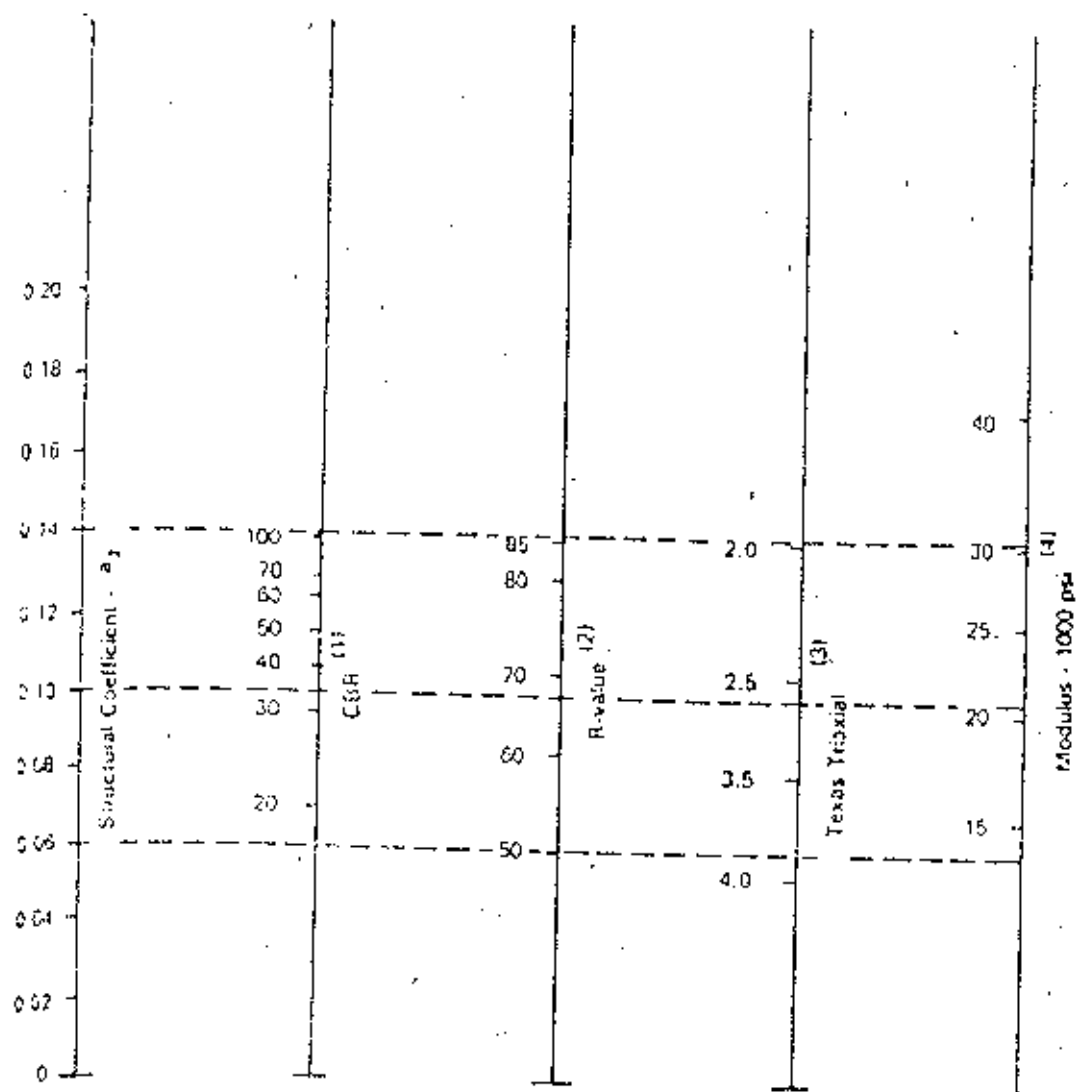


Gambar 2.14. Diagram perencanaan SH.

(AASHTO, 1986)

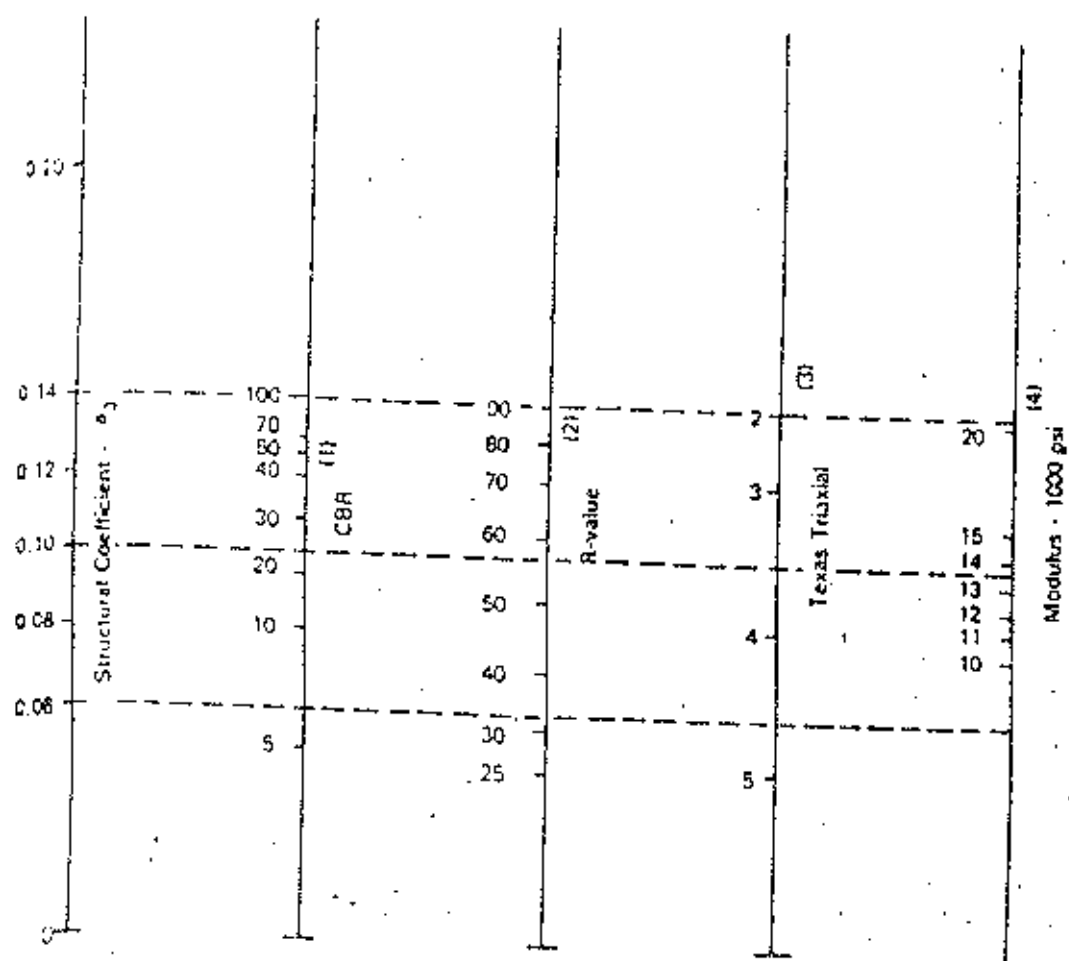


Gambar 2.15. Koefisien lapisan permukaan (a_1).
(AASHTO, 1986).



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
 (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
 (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
 (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Gambar 2.16. Koefisien lapisan base (a_2).
 (AASHTO, 1984).



- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
 (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
 (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
 (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Gambar 2.17. Koefisien lapisan subbase (a_2).

(AASHTO, 1986).

mengalami kerusakan yang paling berat, yaitu sepanjang 2 km. Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan cara pengelobaran, yaitu dengan dorongan tangan luan besar. Kedalaman pengelobaran an-

3.1. PENGUMPULAN DATA DI LAPANGAN

Untuk itulah pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi penyelidikan pengaruh kembang-susut pada tanah dasar (subgrade) jalan lakarsantri.

Diseamping itu juga didukung dengan beberapa fakta yang ada perlu dilakukan penyelidikan dan pengujian di laboratorium. Pengaruh kembang-susut pada tanah dasar jalan lakarsantri dirasakan di atasnya. Untuk mengetahui sampai mana tanah menjadi lemah, sehingga tidak mampu mendukung beban cukup besar. Sifat kembang-susut ini menyebabkan daya dukung dasar (subgrade) setempat mempunyai sifat kembang-susut yang cara visual dapat dikatakan disebabkan karena kondisi tanah kerusakan jalan lakarsantri berdasarkan pengamatan se-

BAB III METODOLOGI PENYELIDIKAN PENGARUH KEMBANG-SUSUT TANAH

kira 1 - 1,5 m, dimana sepanjang jalan tersebut di ambil 5 titik pengeboran. Dari pengeboran tersebut didapat contoh tanah undisturb dan disturb. Kemudian perlu dilakukan pengujian terhadap contoh tanah tersebut di laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat dari tanah baik sifat fisik maupun sifat teknis tanah tersebut.

Disamping itu juga dari pengamatan di lapangan didapatkan data-data mengenai kondisi lingkungan sekitar pada daerah setempat, jumlah volume lalu lintas kendaraan yang lewat pada jalan Lakarsantri saat ini, serta data-data pendukung lainnya yang berkaitan dengan masalah dibahas. Adapun data-data tersebut dapat berupa gambar sketsa atau foto.

3.2. PELAKSANAAN PENGUJIAN TANAH DI LABORATORIUM

Pengujian tanah di laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat teknis serta kekuatan dari tanah setempat yang merupakan tanah dasar (subgrade). Dari bermacam-macam metode pengujian untuk mengetahui sifat teknis tanah dipakai cara yang paling umum yaitu test pemadatan (modified proctor test) dan CBR test.

Sedangkan untuk mengetahui sifat fisik tanah, antara lain dilakukan test volumetri/gravimetri, test konsistensi tanah (Atterberg limit test), test pembagian butir.

3.2.1. Test Volumetri/Gravimetri.

Struktur tanah pada prinsipnya terdiri dari air, udara dan butiran-butiran tanah yang padat. Tanah dikatakan jenuh air (saturated) bila porinya berisi air dan tidak mengandung udara sama sekali. Sedang tanah dikatakan kering bila pori tanah tidak mengandung air sama sekali.

Adapun test volumetri/gravimetri ini dilakukan untuk mengetahui harga dari berat volume (γ), kadar air (w_c) dan specific gravity (G_s).

Berat volume tanah merupakan perbandingan dari berat tanah dibagi volume tanah, atau :

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

dimana : γ = berat volume tanah

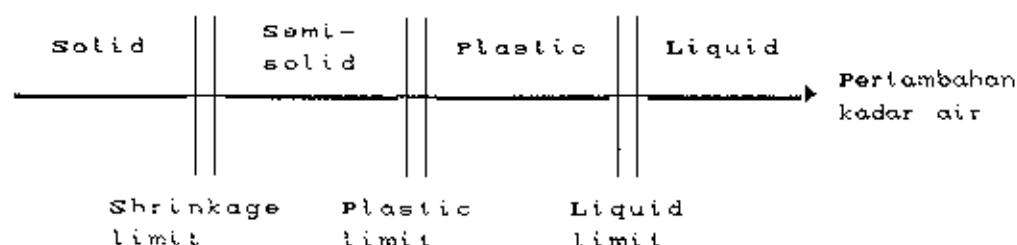
W = berat tanah

V = volume tanah.

Setiap kali mengadakan pengujian suatu tanah di laboratorium kadar air dari tanah yang bersangkutan harus ditentukan lebih dahulu. kadar air dapat didefinisikan sebagai :

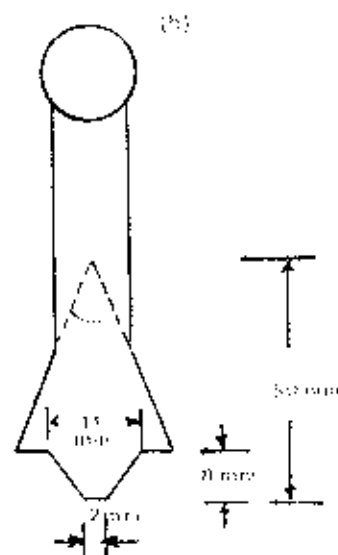
$$w_c = \frac{\text{berat air yang dikandung oleh tanah}}{\text{berat tanah kering}}$$

timbulnya pecah-pecah. Sifat-sifat kohesi tersebut disebabkan karena adanya air yang diserap oleh permukaan butir-butir tanah lempung. Apabila tanah kohesif dicampur dengan air yang cukup banyak, tanah tersebut akan berubah sifatnya, yaitu dari padat menjadi plastis dan kemudian menjadi liquid (cair). Apabila campuran tanah + air yang sudah berupa liquid tersebut dipanaskan secara perlahan-lahan, campuran tersebut akan berubah dari keadaan liquid ke keadaan plastis. Kalau pemanasan diteruskan, keadaan plastis tersebut akan berubah menjadi semi solid (agak padat) dan kemudian menjadi solid (padat). Urutan keadaan ini dapat digambarkan dengan diagram seperti yang diberikan pada Gambar 3.1. Kadar air dimana tanah berubah dari keadaan cair ke keadaan plastis disebut "batas cair (liquid limit)", dari keadaan plastis ke keadaan semi solid dinamakan "batas plastis (plastic limit)" dan dari keadaan semi solid ke keadaan solid disebut "batas kerut (shrinkage limit)".



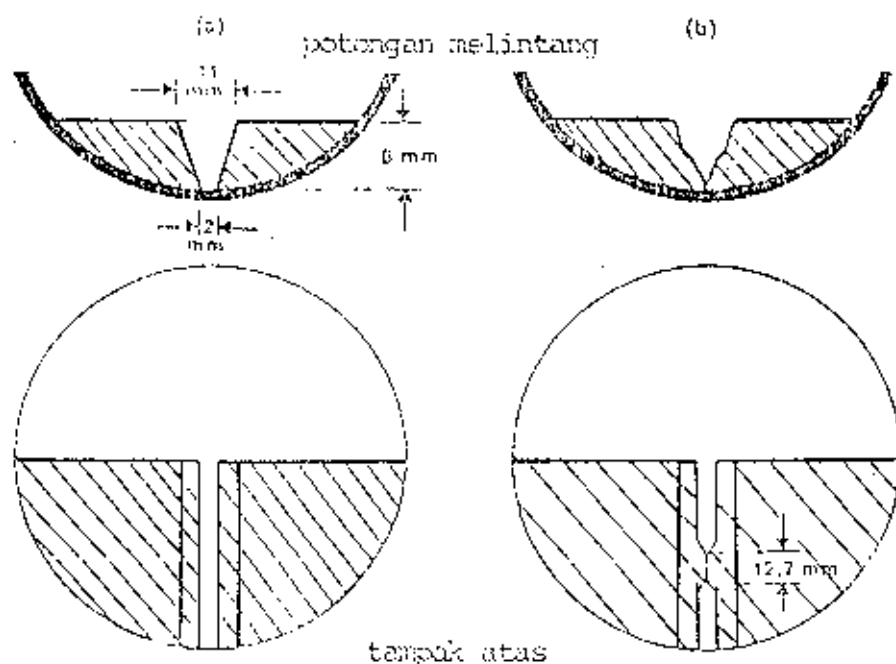
Gambar 3.1. Batas-batas Atterberg

Untuk melakukan uji batas cair, pasta tanah diletakkan didalam mangkok kuningan kemudian digores tepat ditengahnya ngahnya dengan menggunakan alat penggores standart (Gambar 3.3).



Gambar 3.3. Alat penggores untuk LL test.

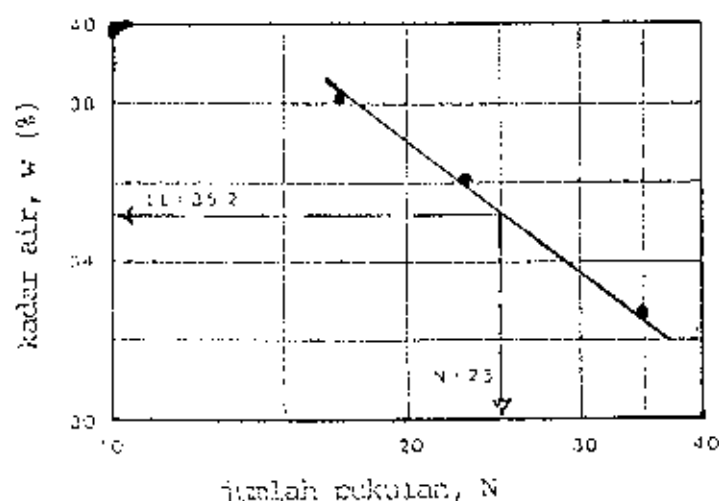
Dengan menjalankan alat pemutar mangkok kemudian dinaik-turunkan dari ketinggian 0,3937 inchi (10 mm). Kadar air (dalam persen) dari tanah yang dibutuhkan untuk menutup goresan yang berjarak 0,5 inchi (12,7 mm) sepanjang dasar contoh tanah di dalam mangkok (lihat Gambar 3.4) sesudah 25 putaran didenifisikan sebagai "batas cair (liquid limit)".



Gambar 3.4. Skema dari tanah dalam mangkok untuk LL test.

Untuk mengatur kadar air dari tanah yang bersangkutan agar dipenuhi persyaratan di atas ternyata sangat sulit. Oleh karena itu akan lebih baik kalau dilakukan uji batas cair paling sedikit empat kali pada tanah yang sama tetapi pada kadar air yang berbeda-beda. Sehingga jumlah pukulan N , yang dibutuhkan untuk menutup goresan bervariasi antara 15 sampai 35. Kadar air dari tanah (dalam %) dan jumlah pukulan untuk masing-masing uji digambarkan di atas kertas grafik semi-log (gambar 3.5). Hubungan antara kadar air dan $\log N$

dapat dianggap sebagai suatu garis lurus. Garis lurus tersebut dinamakan sebagai *kurva aliran (flow curve)*. Kadar air yang bersesuaian dengan $N = 25$, yang ditentukan dari kurva aliran, adalah batas cair dari tanah yang bersangkutan.



Gambar 3.5. Plot antara kadar air dan jumlah pukulan (N).

Kemiringan dari garis aliran (flow line) didefinisikan sebagai indeks aliran (flow index) dan dapat dituliskan sebagai:

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log N_2 - \log N_1}$$

dimana : I_F = Indeks aliran

w_1 = kadar air (%), dari tanah pada pukulan N_1

w_2 = kadar air (%), dari tanah pada pukulan N_2

3.2.2.2. Test Batas Plastis (Plastic Limit Test).

Pada percobaan di laboratorium, batas plastis biasanya didefinisikan sebagai kadar air dari tanah dimana tanah tersebut akan retak-retak apabila di gulung sampai dengan diameter 3 mm (1/8 inchi). Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Cara pengujian-nya adalah sangat sederhana yaitu dengan cara menggulung massa tanah yang berukuran elipsoida dengan telapak tangan di atas kaca datar.

Indeks plastisitas (plasticity index (PI)) adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau

$$PI = LL - PL$$

Tanah yang mempunyai harga plastis indeks ($PI = LL - PL$) tinggi berarti tanah tersebut mudah berubah sifatnya, yaitu daya dukung tanah tersebut atau kekuatan tanah menurun, apabila kadar airnya bertambah. Oleh karena itu, tanah dengan IP tinggi adalah sangat peka terhadap perubahan kadar air.

3.2.2.3. Test Batas Kerut (Shrinkage Limit Test).

Apabila tanah lempung yang jenuh air (saturated) dikeringkan secara perlahan-lahan, tanah tersebut akan kehilangan air yang dikandungnya dan terjadi penyusutan volume dari massa tanah tersebut. Dalam proses pengeringan selanjutnya, akan tercapai suatu keadaan dimana pengeringan hanya akan

menghasilkan pengurangan dari kadar air saja tanpa ada penambahan penyusutan lebih lanjut dari volume tanah. Kadar air pada saat mana tidak terjadi penambahan penyusutan dari tanah yang bersangkutan dinamakan "shrinkage limit".

3.2.3. Test Pembagian Butir.

Ada dua macam cara yang umum dipakai untuk menentukan pembagian butir dari suatu tanah di laboratorium, yaitu :

1. Analisa ayakan, dan

2. Analisa hydrometer.

Analisa ayakan biasanya dipakai untuk tanah yang butir-butirnya mempunyai diameter lebih besar dari 0,075 mm, sedangkan analisa hydrometer dipakai untuk tanah yang diameter butirannya lebih kecil dari 0,075 mm.

Test pembagian butir juga perlu untuk klasifikasi tanah. Sistem klasifikasi tanah yang umum dipakai adalah :

a. Sistem klasifikasi Unified, dan

b. Sistem klasifikasi AASHTO.

Dengan menggunakan sistem klasifikasi tanah tersebut diatas, maka tanah yang dapat dikelompokkan dalam salah satu dari dua kelompok besar, yaitu :

- tanah berbutir kasar, dan

- tanah berbutir halus.

Kalau kelompok dari tanah yang di test sudah diketahui, maka

sifat-sifat umum dari tanah yang bersangkutan dapat diketahui dengan mudah. Disamping itu dari analisa pembagian butir dapat digunakan untuk menentukan besar aktivitas (A) tanah, yaitu :

$$\text{Aktivitas tanah (A)} = \frac{\text{Indeks plastisitas (PI)}}{\% \text{ berat fraksi berukuran lempung}}$$

Tanah lempung yang mempunyai harga $A = 1$ ($0,75 < A < 1,25$) diklasifikasikan sebagai tanah lempung yang bersifat normal; harga $A < 0,75$ adalah tanah lempung yang aktivitasnya rendah, dan harga $A > 1,25$ adalah tanah lempung yang aktivitasnya tinggi (mudah berubah sifatnya apabila kadar airnya berubah).

3.2.4. Test Pemadatan (Compaction Test).

Untuk konstruksi jalan, pemadatan dari tanah yang bersangkutan adalah sangat penting untuk menaikkan sekaligus memperbaiki kekuatan tanah. Dengan memperbaiki kekuatan tanah, maka daya dukung tanah dasar untuk menerima beban diatasnya berkurang, dan pada talud, stabilitas lerengnya akan bertambah.

Pemadatan tanah berarti memperkecil volume pori dari suatu tanah atau memperbesar berat volume tanah. Selama proses pemadatan, penambahan air akan menyebabkan butir-butir tanah mudah untuk bergerak satu terhadap yang lain ke dalam

posisi yang lebih padat (harga γ_d makin besar). Penambahan air secara bertahap pertamartama akan meningkatkan harga berat volume kering (γ_d), tetapi setelah kadar air tertentu (kadar air optimum, W_{opt}) telah dilampaui oleh tanah tersebut, harga dari γ_d tanah akan menurun. Tingkat atau derajat kepadatan suatu tanah dapat dilihat dari harga berat volume kering (γ_d) dari tanah yang dipadatkan, makin besar γ_d maka makin padat tanah tersebut.

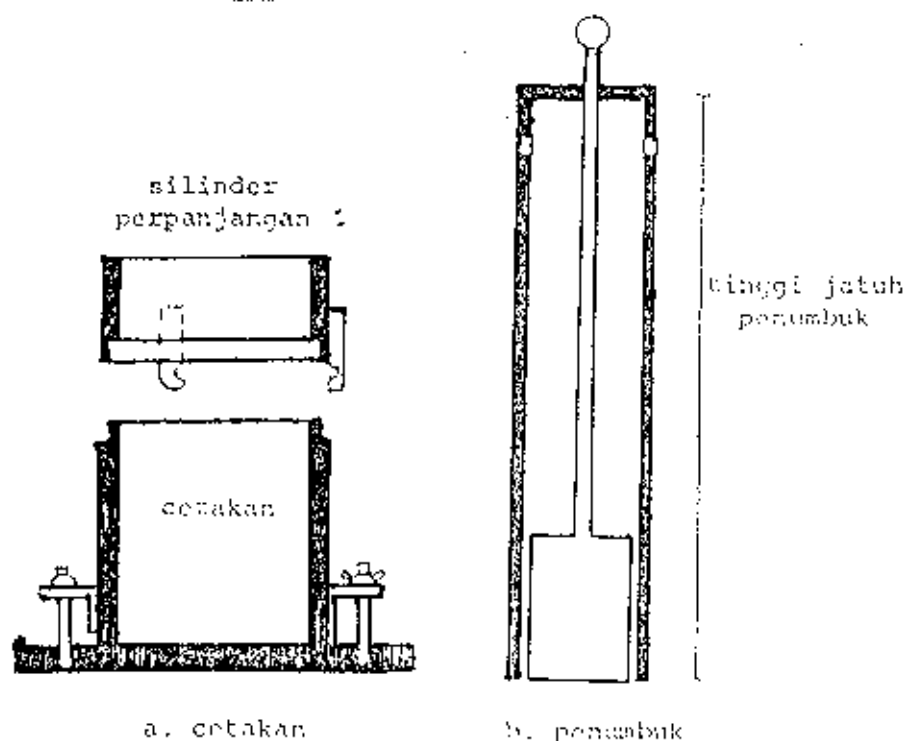
Di laboratorium, cara test pemadatan yang biasa dilakukan adalah metode yang diperkenalkan oleh Proctor pada tahun 1933, yaitu ada dua cara :

- Standard Proctor Test, dan
- Modified Proctor Test.

Test pemadatan tersebut bertujuan untuk menentukan harga maksimum berat volume kering ($\gamma_d \text{ max}$) dan kadar air yang bersesuaian dengan $\gamma_d \text{ max}$. Kadar air dimana γ_d adalah maksimum dinamakan "kadar air optimum (W_{opt})". Adapun test pemadatan yang digunakan di laboratorium nanti adalah dengan menggunakan Modified Proctor Test. Cara ini merupakan hasil modifikasi dari Standard Proctor Test dan dianggap lebih dapat mewakili kondisi pemadatan di lapangan.

Kedua cara tersebut diatas pada prinsipnya adalah sama. Volume cetakan silinder yang digunakan sama yaitu $1/30 \text{ ft}^3$ (944 cm^3). Tetapi energi yang digunakan untuk memadatkan

berbeda, Standard Proctor test (SPT) menggunakan tenaga sebesar 12,375 ft-pound/ft, sedang Modified Proctor (MPT) test menggunakan tenaga sebesar 56,25 ft-pound/ft. Jumlah tanah yang dimasukkan ke dalam cetakan silinder juga berbeda, pada SPT tanah yang dimasukkan ke cetakan silinder sebanyak 3 lapis, sedangkan MPT menggunakan 5 lapis dengan ketebalan yang sama pula. Tiap-tiap lapis tersebut harus dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 25 x, dimana untuk SPT berat penumbuknya 5,5 pound (2,5 kg), sedangkan MPT berat penumbuknya adalah 10 pound (4,54 kg). Skema dari cetakan dan penumbuk yang dipakai untuk test pemadatan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Skema dari cetakan dan penumbuk untuk Modified Proctor Test.

Untuk setiap percobaan, berat volume tanah lembab (γ) yang akan dipadatkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{\text{berat tanah lembab (dalam cetakan)}}{(\text{volume cetakan (944 cm)}^3)}$$

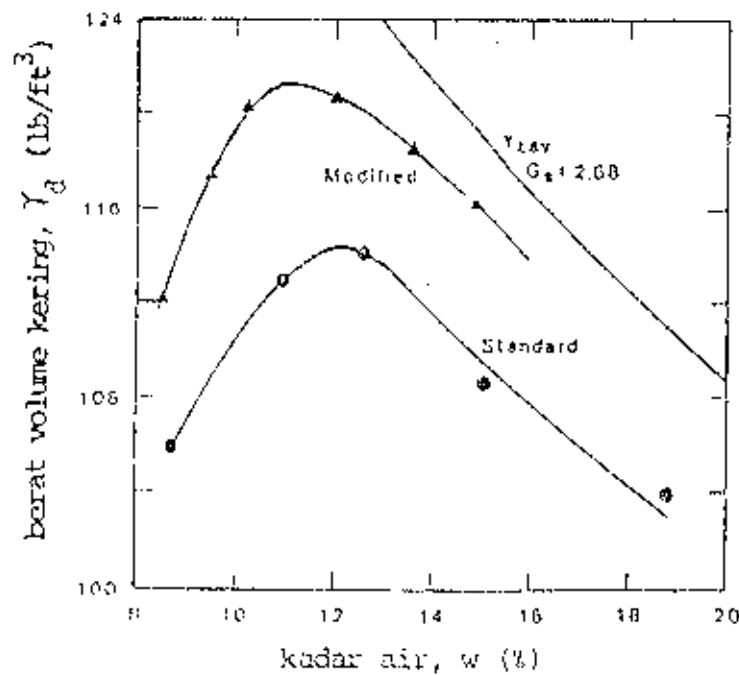
Bila kadar air tanah yang dipadatkan diketahui, maka berat volume kering (γ_d) tanah tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w (\%)}{100}}$$

dimana : $w (\%)$: kadar air tanah yang dipadatkan

Hasil test dari Modified Proctor dan Standard Proctor Test untuk tanah yang sama akan memberikan grafik seperti pada Gambar 3.7. Dari kedua grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya tenaga yang digunakan untuk memadatkan, maka :

1. Harga maksimum γ_d dari tanah yang dipadatkan bertambah, dan
2. Harga kadar air optimum berkurang.



Gambar 3.7. Grafik hasil test pemadatan.

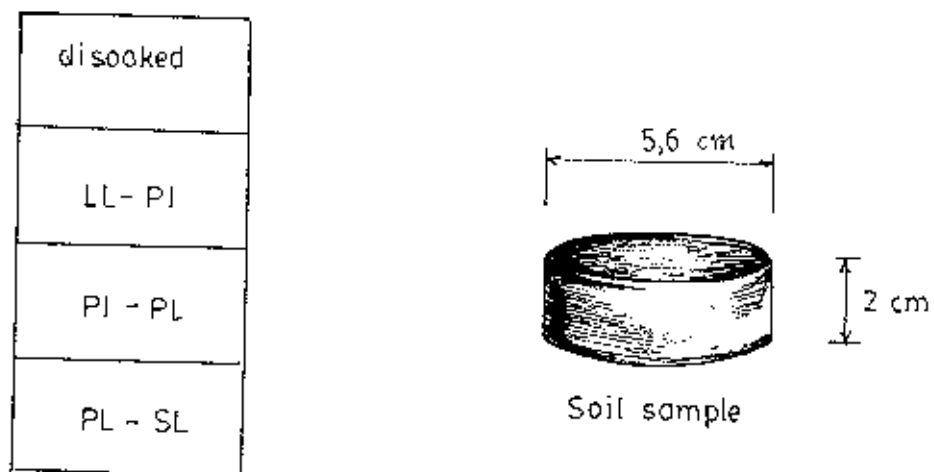
3.2.5. Test Mengembang Tanah (Swelling Test).

Besar mengembang tanah ditentukan dengan test swelling di laboratorium. Besar mengembang tanah ditentukan dari perbandingan antara perubahan tinggi tanah yang telah dicetak dalam cetakan silinder yang telah ditentukan.

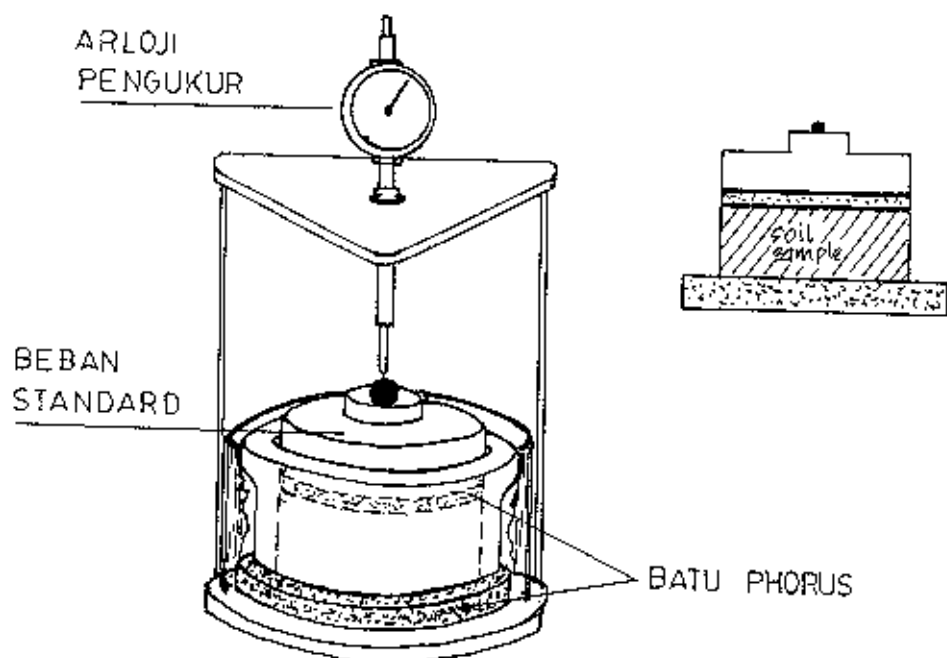
Adapun langkah-langkah dalam tes swelling ini adalah :

- Berdasarkan hasil tes pemadatan sebelumnya, diambil 3 harga γ_d , yaitu :
 - lebih kecil dari γ_d maks (kondisi dry side)

- lebih kecil dari γ_d maks (kondisi wet side)
 - 95 % γ_d maks atau sama dengan γ_d maks (kondisi W_c optimum).
- b. Dari setiap harga γ_d diatas dibuat 4 lapis sample dari tanah hasil pemadatan tersebut dengan ketinggian sample $< 1/4 D$ tiap samplanya (lihat Gambar 3.8).
- c. Kondisi kadar air dari 4 lapis sample tanah tersebut sebelum dilakukan tes swelling dibuat :
- sama dengan kondisi awal (saat pemadatan)
 - antara LL - PI
 - antara PI - PL
 - antara PL - SL
- d. Kemudian dilakukan tes swelling dari masing-masing sample tersebut untuk setiap harga γ_d yang berbeda. Skema alat test swelling dapat dilihat pada Gambar 3.9.
- e. Besarnya pembebanan untuk tes swelling diasumsikan sama dengan pembebanan perkerasan yang ada.



Gambar 3.8. Contoh tanah untuk swelling test.



Gambar 3.9. Skema alat swelling test.

3.2.6. Tes CBR (California Bearing Ratio Test).

Tes CBR merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam menentukan berapa besarnya daya dukung suatu tanah. Metode CBR dikembangkan oleh suatu badan yang bernama California State Highway Department sebagai metode untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (subgrade).

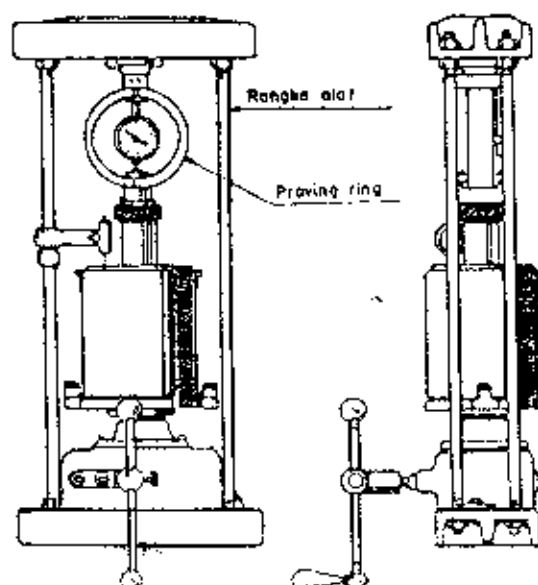
California Bearing Ratio (CBR) adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1 inch. dan 0,2 inch. dengan beban yang ditahan batu pecah standard pada penetrasi 0,1 inch. dan 0,2 inch. Jadi harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standard berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban lalu lintas.

Menurut Asphalt Institut (AI Manual MS-10, 1978), alat percobaan untuk tes CBR yaitu berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch². Piston digerakkan dengan kecepatan 0,05 inchi/menit secara vertikal ke bawah. Proving ring digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Gambar 3.10 memperlihatkan bentuk alat CBR yang digunakan di laboratorium. Beban yang digunakan untuk mengukur penetrasi bahan standard dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Beban Penetrasi Standard.

Penetrasi (inchi)	Beban Standard (lbs)	Beban Standard (lbs/inchi ²)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	2600

ARLOJI PENGUKUR



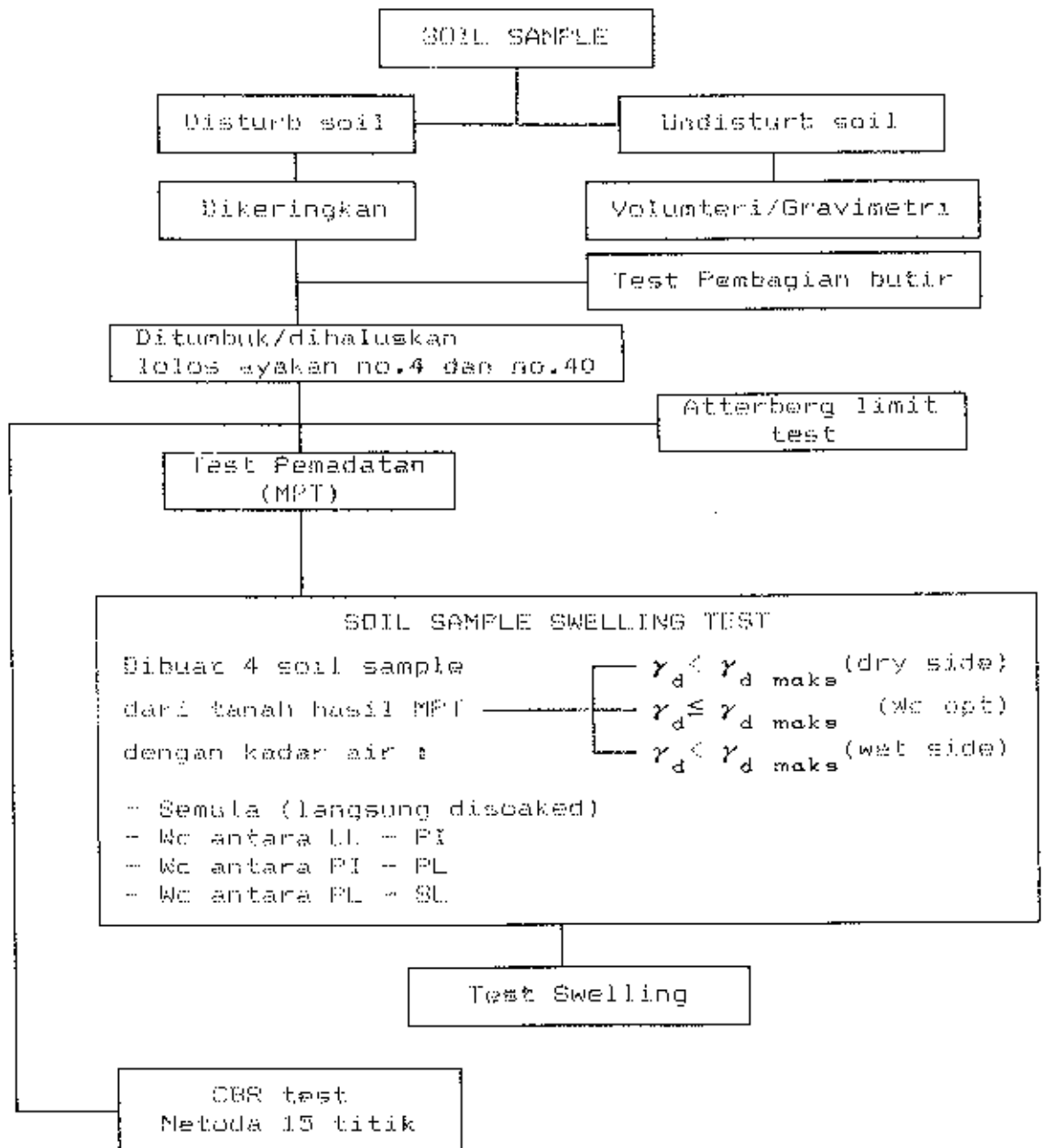
Gambar 3.10. Alat untuk tes CBR di laboratorium.

Pengetesan CBR untuk tanah yang mempunyai sifat kembang susut adalah dengan cara "The fifteen-point method" (metode 15 titik) dalam kondisi soaked (terendam). Soaked CBR didapatkan setelah contoh tanah direndam sekurang-kurangnya 4 hari untuk tanah lempung. Dengan memakai metode 15 titik ini digunakan contoh tanah sebanyak 15 sample dengan energi yang berbeda sebagai berikut :

- 5 contoh tanah dengan penumbukan sebanyak 60 x per lapis.
- 5 contoh tanah dengan penumbukan sebanyak 30 x per lapis.
- 5 contoh tanah dengan penumbukan sebanyak 15 x per lapis.

Penentuan CBR design didapat dari segala kemungkinan-kemungkinan CBR di lapangan (terkecil atau 90 % terkecil). Sedangkan pengukuran % swelling dari tanah dilakukan setelah perendaman.

METODOLOGI PENYELIDIKAN PENGARUH KEMBANG SUSUT



BAB IV

HASIL PENYELIDIKAN SIFAT FISIK TANAH DI LABORATORIUM DAN ANALISA DATA

4.1. HASIL PENYELIDIKAN SIFAT FISIK TANAH DI LABORATORIUM

4.1.1. Test Volumetri/Gravimetri.

Dari tes volumetri/gravimetri yang telah dilakukan pada tanah subgrade jalan Lakarsantri dapat diketahui besarnya berat volume tanah (γ), kadar air (W_c) dan specific gravity (G_s). Hasil dari tes tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1, 4.2, dan 4.3.

Tabel 4.1. Berat Volume Tanah (γ_t).

Tanah titik	1	2	3	4	5
Berat Volume (gr/cm^3)	1,75	1,652	1,724	1,642	1,66

Tabel 4.2. Kadar Air Tanah (W_c).

Tanah titik	1	2	3	4	5
Kadar air (%)	41,24	39,45	42,42	40,18	40,56

Tabel 4.3. Specific Gravity (G_s).

Tanah titik	1	2	3	4	5
Specific Gravity	-	-	2,608	2,642	2,620

4.1.2. Test Konsistensi Tanah (Atterberg Limit Test).

Hasil yang didapatkan dari tes konsistensi tanah (Atterberg limit test) dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Tes Konsistensi Tanah.

Tanah titik	1	2	3	4	5
Liquid limit (LL)	79 %	67 %	71 %	81 %	78,5%
Plastic limit (PL)	28,18%	23,10%	27,05%	30,09%	29,45%
Indeks plastic (IP)	50,82%	43,90%	43,95%	50,91%	49,05%
Shrinkage limit (SL)	14,65%	11,44%	13,54%	16,71%	12,91%

Dari kelima titik tanah diatas, dapat dicari harga rata-rata dari masing-masing keadaan tersebut. Dari perhitungan dapat diperoleh :

$$\begin{aligned}
 - \text{LL rata-rata} &= \frac{(79+67+71+81+78.5)}{5} \\
 &= 75,30 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{PL rata-rata} &= \frac{(28,18+23,10+27,05+30,09+27,18)}{5} \\
 &= 27,57 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ IP rata-rata} &= \frac{(50,82+43,90+43,95+50,91+49,05)}{5} \\ &= 47,73 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ SI rata-rata} &= \frac{(14,65+11,44+13,54+16,71+12,91)}{5} \\ &= 13,85 \% \end{aligned}$$

4.1.3. Test Pembagian Butir.

Dari hasil test analisa ayakan dan test analisa hidrometer dapat diketahui distribusi ukuran butiran tanah dasar jalan Lokasentri (lihat grafik grain size distribution pada Gambar 4.1).

ANALISA SARINGAN

Titik : 3 (1,5 m)

Deskripsi : Lempung

Warna : Coklat kehitam-hitaman

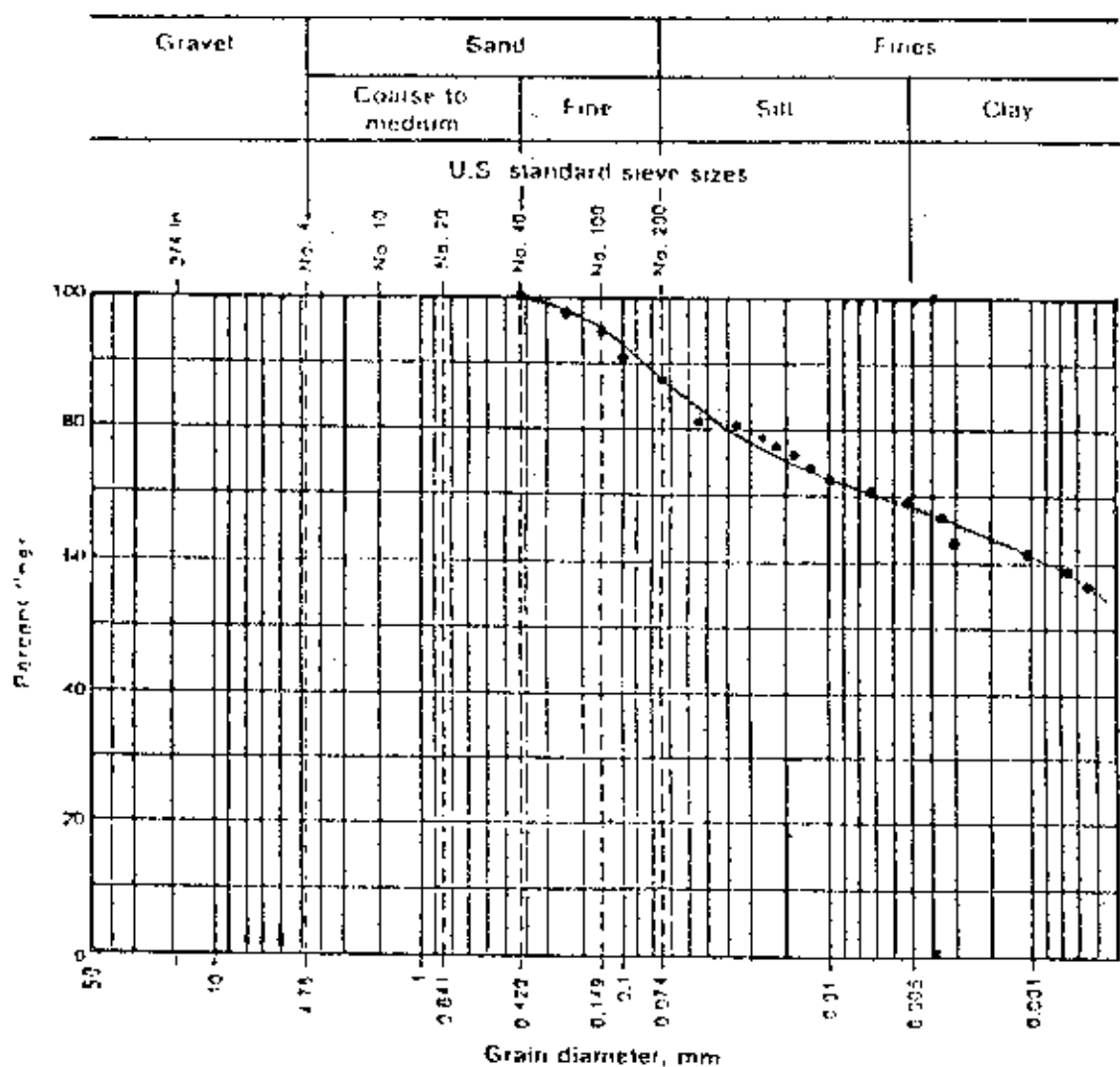
Saringan No.	Diameter (mm)	% lolos
40	0.425	100
60	0.25	97
100	0.15	95
140	0.106	91
200	0.075	88

HYDROMETER ANALYSIS

Description of soil _____

Sample No. _____ Location Titik 3.Gs. 2.68 Hydrometer type _____Dry weight of soil, W_s 50 gr (g) Temperature of test, T 23.5 ($^{\circ}\text{C}$)meniscus correction, F_m 1 Zero correction, F_z 3Temperature correction, F_T 2.275

Time (min)	Hydrometer reading, R	R_{co}	Percent finer, $\frac{R_{co}}{50} \times 100$	R_{cl}	L (cm)	A	D (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0.50	41	40.275	80.55	42	9.4	0.01254	0.0544
1	41	40.275	80.55	42	9.4		0.0384
2	40.5	39.775	79.55	41.5	9.65		0.0272
3	40	39.275	78.55	41	9.75		0.0226
4	39.5	38.775	77.55	40.5	9.80		0.0196
8	38.5	37.775	75.55	39.5	10		0.014
16	37	36.275	72.55	38	10.25		0.010
30	36.25	35.525	71.05	37.25	10.30		0.0073
60	35.5	34.775	69.55	36.5	10.50		0.0052
120	34.75	34.025	68.05	35.75	10.55		0.0037
180	32.5	31.775	63.55	33.5	10.80		0.00307
1440	31.75	31.025	62.05	32.75	10.92	-x-	0.00109
2880	30.5	29.775	59.55	31.5	11.15		0.00078
4320	29.5	28.775	57.55	30.5	11.35		0.00064



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}} =$$

Classification
USCS

Description of Soil

Gravel = 100 %
 Sand = 12 %
 Silt - Clay = 88 %

Gambar 4.1. Grain size distribution titik 3

4.1.4. Test Pemadatan (Modified Proctor Test).

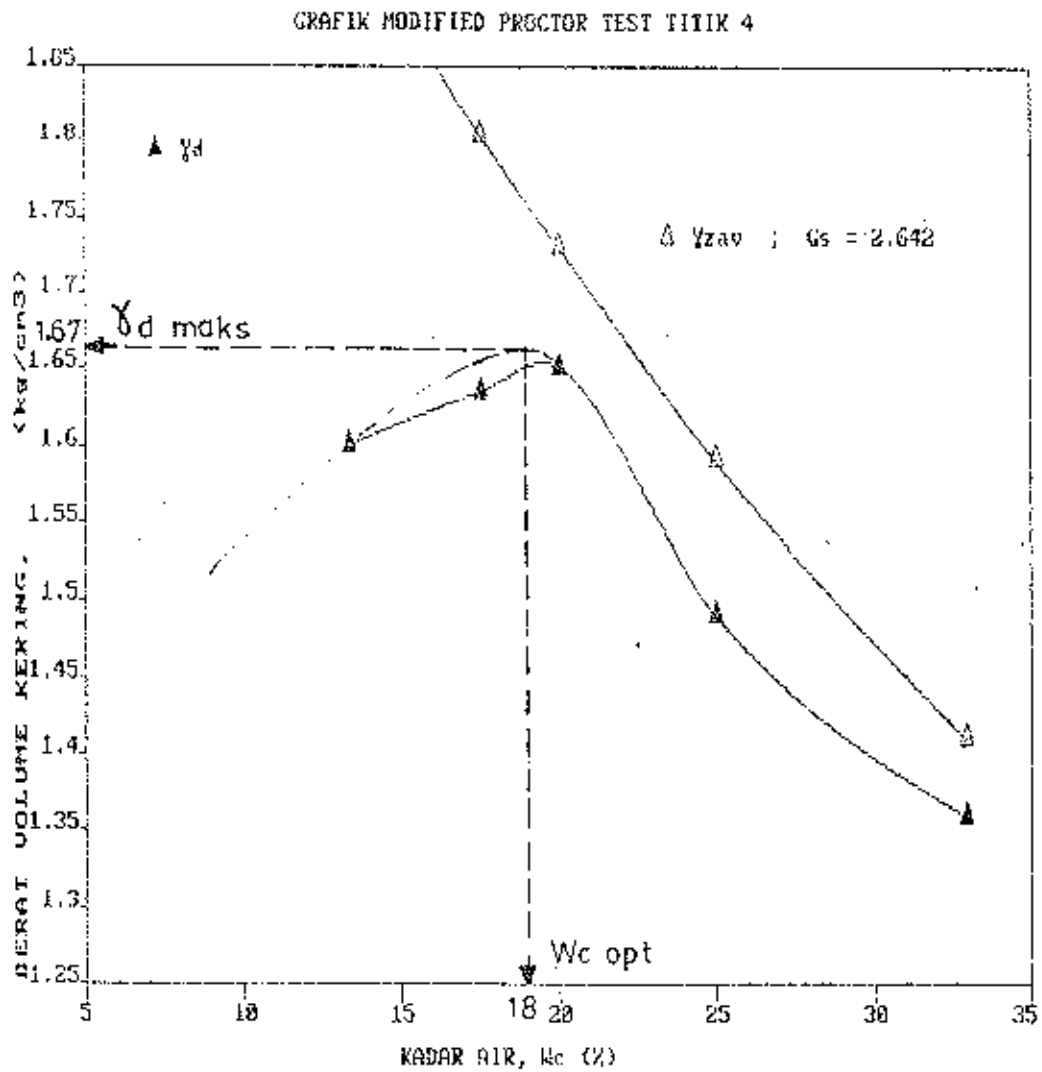
Hasil test pemadatan tanah dengan Modified proctor test disajikan pada tabel 4.5 berikut dibawah ini :

Tabel 4.5. Hasil Modified Proctor Test.

Modified Proctor Test Titik 3					
Percobaan ke-	1	2	3	4	5
Kadar air (%)	14,90	17,10	24,61	31,64	—
Berat volume kering, γ_d	1,560	1,591	1,546	1,406	—

Modified Proctor Test Titik 4					
Percobaan ke-	1	2	3	4	5
Kadar air (%)	13,36	17,52	20,04	26	32,93
Berat volume kering, γ_d	1,600	1,635	1,651	1,490	1,360

Modified Proctor Test Titik 5					
Percobaan ke-	1	2	3	4	5
Kadar air (%)	13,76	17,27	20	23,58	25,41
Berat volume kering, γ_d	1,559	1,608	1,620	1,526	1,487



Gambar 4.3. Grafik modified proctor test titik 4

Dari grafik tersebut dapat diketahui harga γ_d maks dan W_c optimum masing-masing titik (lihat Tabel 4.6).

Tabel 4.6. Harga γ_d maks dan W_c optimum

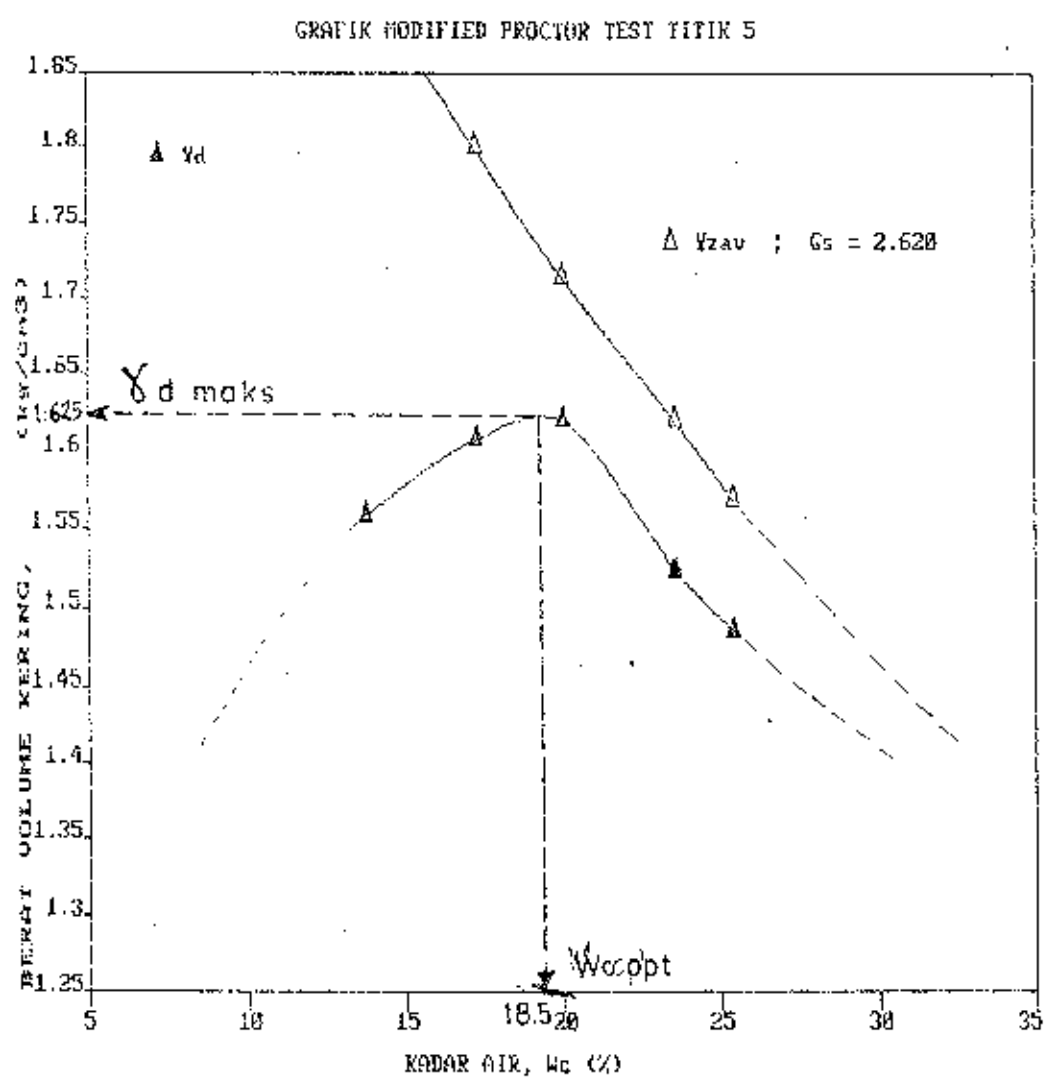
Tanah titik	1	2	3	4	5
γ_d maks. (gr/cm ³)	—	—	1,590	1,670	1,625
W_c opt. (%)	—	—	18	18	18,5

4.1.5. Test Pengembangan Tanah (Swelling Test).

Hasil dari test swelling digunakan untuk mengetahui pengembangan tanah dasar. Test swelling dilakukan berdasarkan variasi γ_d dan kadar air (W_c) yang berbeda-beda. Hasil dari test swelling ini dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Swelling Test.

Test swelling pada titik 3				
Untuk $\gamma_d < \gamma_d$ maks (dry side) $\rightarrow \gamma_d = 1,560$ gr/cm ³				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	14,90 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 20 %
Swelling (%)	18 %	1,35 %	6,25 %	11,16 %



Gambar 4.4. Grafik modified proctor test titik 5

Untuk $\gamma \leq \gamma_{d \text{ maks}}$ (Wc opt) $\longrightarrow \gamma_d = 1,590 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	19,10 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 15 %
Swelling (%)	11,15 %	1,12 %	5,85 %	12,34 %

Untuk $\gamma < \gamma_{d \text{ maks}}$ (wet side) $\longrightarrow \gamma_d = 1,545 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	24,61 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 15 %
Swelling (%)	4,15 %	0,94 %	2,62 %	7,55 %

Test swelling pada titik 4				
Untuk $\gamma_d < \gamma_{d \text{ maks}}$ (dry side) $\longrightarrow \gamma_d = 1,600 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	13,36 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 20 %
Swelling (%)	16,8 %	1,8 %	7,2 %	12,5 %

Untuk $\gamma_d \leq \gamma_{d \text{ maks}}$ (Wc opt) $\longrightarrow \gamma_d = 1,651 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	20,04 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 15 %
Swelling (%)	10,75 %	1,15 %	4,95 %	13,15 %

Untuk $\gamma_d < \gamma_{d \text{ maks}}$ (wet side) $\longrightarrow \gamma_d = 1,490 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	25 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 15 %
Swelling (%)	5,30 %	0,75 %	2,25 %	6,20 %

Test swelling pada titik 5				
Untuk $\gamma_d < \gamma_{d \text{ maks}}$ (dry side) $\longrightarrow \gamma_d = 1,559 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	13,76 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 20 %
Swelling (%)	17 %	1,5 %	6,5 %	11,25 %

Untuk $\gamma_d \leq \gamma_d$ (Wc opt) $\longrightarrow \gamma_d = 1,620 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	20 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 15 %
Swelling (%)	10,50 %	1,05 %	5,75 %	12,25 %

Untuk $\gamma_d < \gamma_{d \text{ maks}}$ (wet side) $\longrightarrow \gamma_d = 1,526 \text{ gr/cm}^3$				
Soil sample no.	1	2	3	4
Kadar air	23,58 %	LL - PI 60 %	PI - PL 35 %	PL - SL 15 %
Swelling (%)	4,50 %	0,95 %	2,80 %	7,45 %

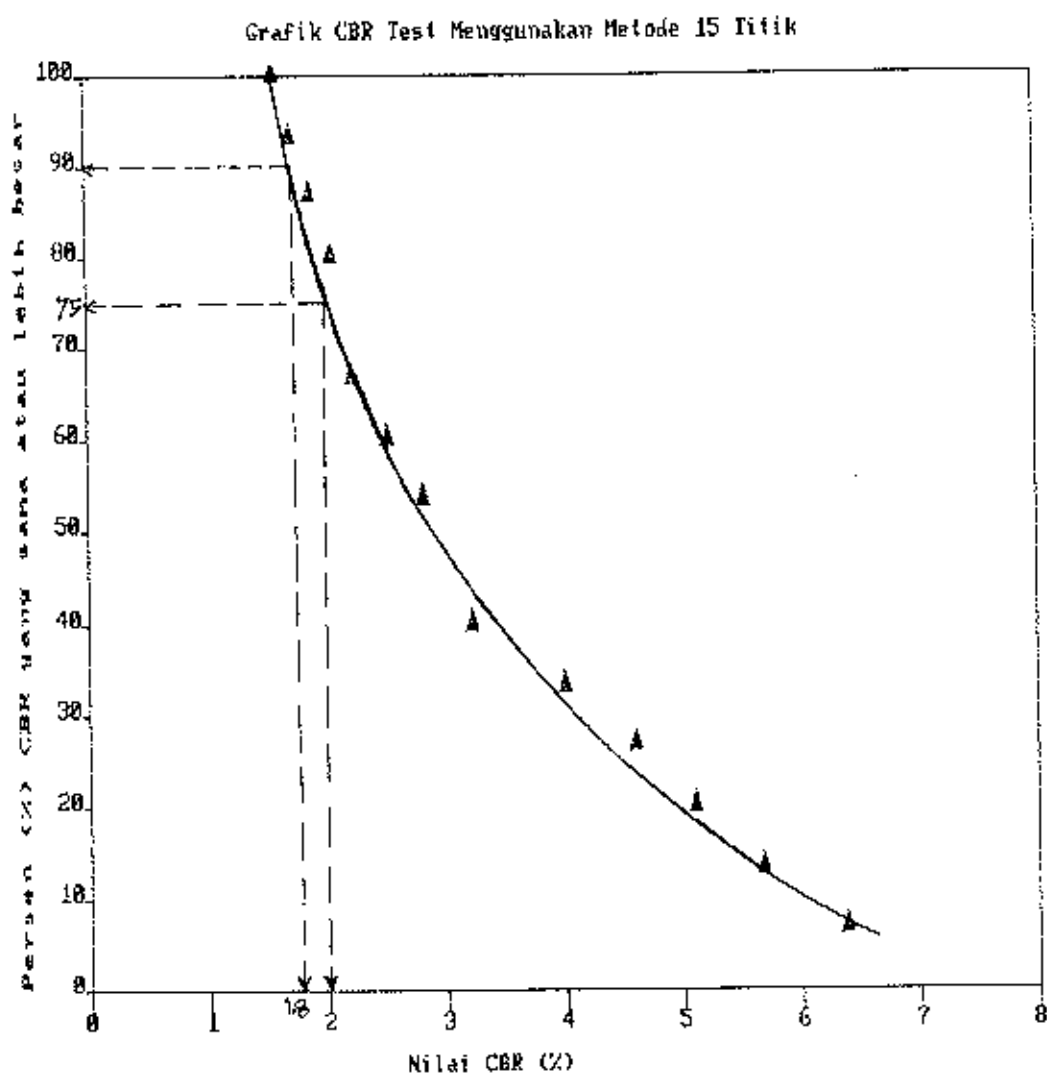
4.1.6. Test CBR (California Bearing Ratio Test).

Hasil test CBR yang diperoleh terhadap pengujian tanah dasar jalan Lokersantri dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8. Hasil Test CBR dan Perhitungannya

Nilai CBR	Jumlah yg. sama atau lebih besar	Persen (%) yg. sama atau lebih besar
1,60	15	$15/15 \times 100 \% = 100 \%$
1,73	14	$14/15 \times 100 \% = 93,3 \%$
1,90	13	$13/15 \times 100 \% = 86,7 \%$
2,07	12	$12/15 \times 100 \% = 80,0 \%$
2,07	-	-
2,24	10	$10/15 \times 100 \% = 66,7 \%$
2,53	9	$9/15 \times 100 \% = 60,0 \%$
2,83	8	$8/15 \times 100 \% = 53,3 \%$
2,83	-	-
3,23	6	$6/15 \times 100 \% = 40,0 \%$
4,00	5	$5/15 \times 100 \% = 33,3 \%$
4,60	4	$4/15 \times 100 \% = 26,7 \%$
5,10	3	$3/15 \times 100 \% = 20,0 \%$
5,67	2	$2/15 \times 100 \% = 13,3 \%$
6,38	1	$1/15 \times 100 \% = 6,7 \%$

Kemudian berdasarkan data nilai CBR diatas dapat ditentukan nilai CBR rencana. Nilai CBR rencana ini didapatkan dari grafik data nilai CBR tersebut (Gambar 4.5).



Gambar 4.5. Persen nilai CBR dengan metode 15 titik

Dari grafik diatas diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\text{CBR}_{75\%} = 2,00\%$$

$$\text{CBR}_{90\%} = 1,80\%$$

Harga CBR rencana yang digunakan untuk subgrade = 2 %

4.2. ANALISIS DATA

4.2.1. Analisis Klasifikasi Tanah.

Berdasarkan hasil test Atterberg limit dan test pembe-
gian butir dapat diperoleh data-data sebagai berikut :

- Liquid limit (LL)	= 74,20 %
- Plastic limit (PL)	= 27,12 %
- Indeks Plastisitas (PI)	= 47,08 %
- Fraksi Kerkil	= 0 %
- Fraksi Pasir	= 12 %
- Fraksi Lempung	= 62,25 %

- Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini dapat dilihat dalam Tabel 4.4. Pada sistem ini, tanah diklasifikasi-
sikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan
A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3
adalah tanah berbutir dimana 35 % atau kurang dari jumlah
tanah tersebut yang lolos dari ayakan No. 200. Sedangkan ta-
nah dimana lebih dari 35 % butiranya lolos ayakan No. 200
diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Untuk mengetahui lebih lanjut lagi mengenai klasifikasi
tanah kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7 dapat dilihat
pada Gambar 4.5.

Tabel 4.9. klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
Group classification	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-1	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percent passing) No. 10 No. 40 No. 200	50 max. 30 max. 15 max.	50 max. 25 max.	51 min. 10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40 Liquid limit Plasticity index	6 max.		NP*	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (More than 35% of total sample passing No. 200)						
Group classification	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6*			
Sieve analysis (percent passing) No. 10 No. 40 No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.			
Characteristics of fraction passing No. 40 Liquid limit Plasticity index	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.			
Usual types of significant constituent materials	Silty soils			Clayey soils			
General subgrade rating	Fair to poor						

*For A-7-5, $PI \leq LL - 30$

*For A-7-6, $PI > LL - 30$

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas pada bagan plastisitas (Casagrande, 1948) yang diberikan dalam Tabel 4.10 diatas.

Jadi berdasarkan klasifikasi tanah sistem Unified, maka tanah dasar jalan Lakarsantiri diklasifikasikan dalam kelompok CH (High Clay).

4.2.2. Analisa Kembang-Susut Tanah.

Indikasi yang dapat digunakan pertama kali untuk memperkirakan kemampuan mengembang (swelling) dari tanah lempung adalah besarnya nilai aktifitas tanah (A). Aktifitas suatu tanah dapat di rumuskan dalam persamaan :

$$A = \frac{PI}{\text{clay fraction}}$$

"Clay fraction" adalah persen berat dari tanah yang ukuran butirannya lebih kecil dari 2 μm (0,002 mm).

Lempung yang mempunyai $A < 0,75$ dapat digolongkan kedalam lempung yang aktifitasnya rendah, $0,75 < A < 1,25$ adalah lempung yang aktifitasnya sedang/normal, $A > 1,25$ adalah lempung yang mempunyai aktifitas tinggi.

Berdasarkan hasil percobaan Atterberg limit didapat nilai PI rata-rata = 47,73 %, sedangkan dari percobaan

Hydrometer, persen berat material yang berdiameter $< 2 \mu\text{m}$ adalah 60 %. Maka dapat dihitung nilai aktifitasnya, yaitu :

$$A = \frac{47,73}{62,25} = 0,76$$

Untuk mengetahui kandungan mineral lempung pada tanah dasar jalan Lakarsantri dapat digunakan tabel 4.11.

Tabel 4.11. Aktifitas dari berbagai macam mineral lempung.

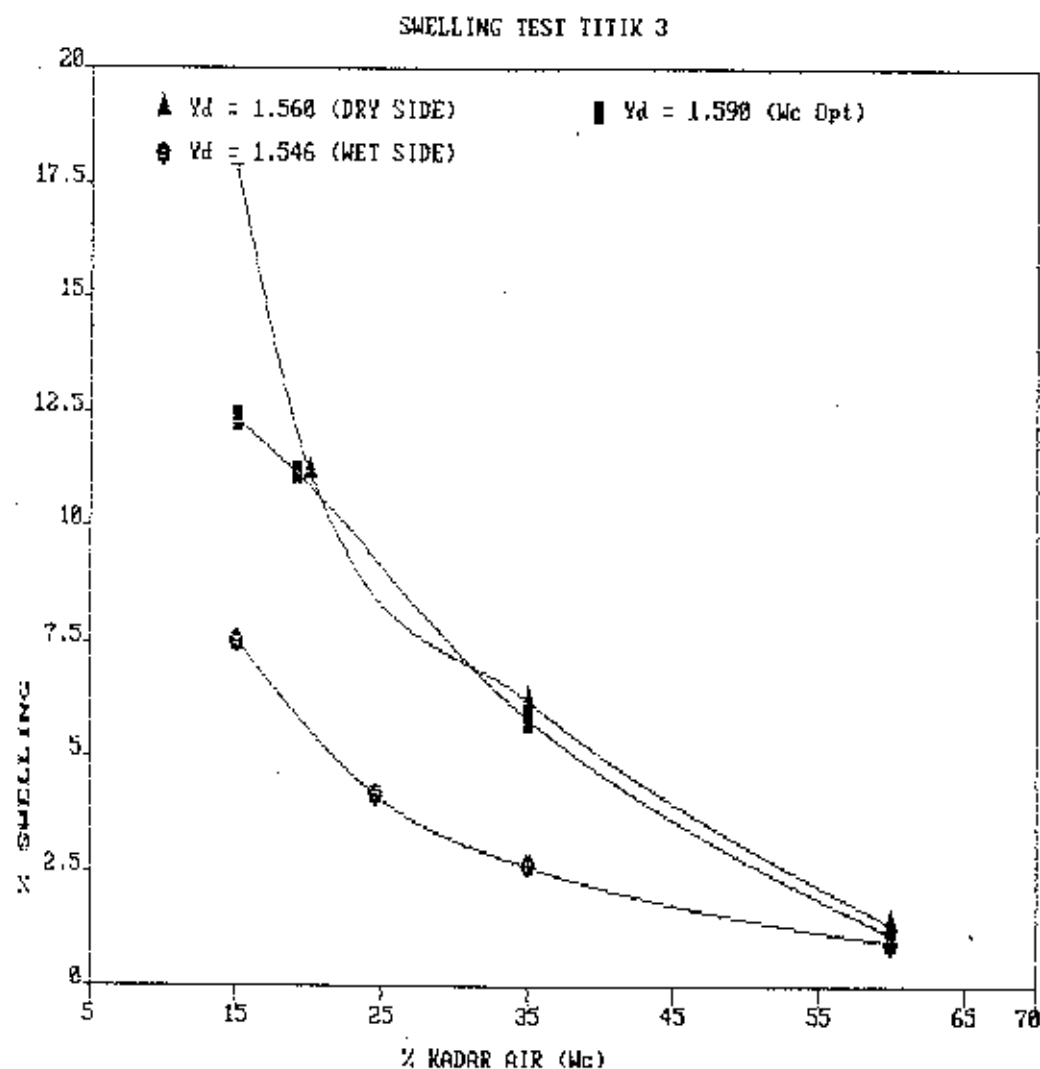
Activities of Various Minerals*	
Mineral	Activity
Na-montmorillonite	4.7
Ca-montmorillonite	1.5
Illite	0.5-2.5
Kaolinite	0.3-0.5
Halloysite (dehydrated)	0.5
Halloysite (hydrated)	0.1
Attapulgite	0.5-1.2
Allophane	0.5-1.2
Mica (muscovite)	0.2
Calcite	0.2
Quartz	0

*After Skempton (1953) and Marshall (1976).

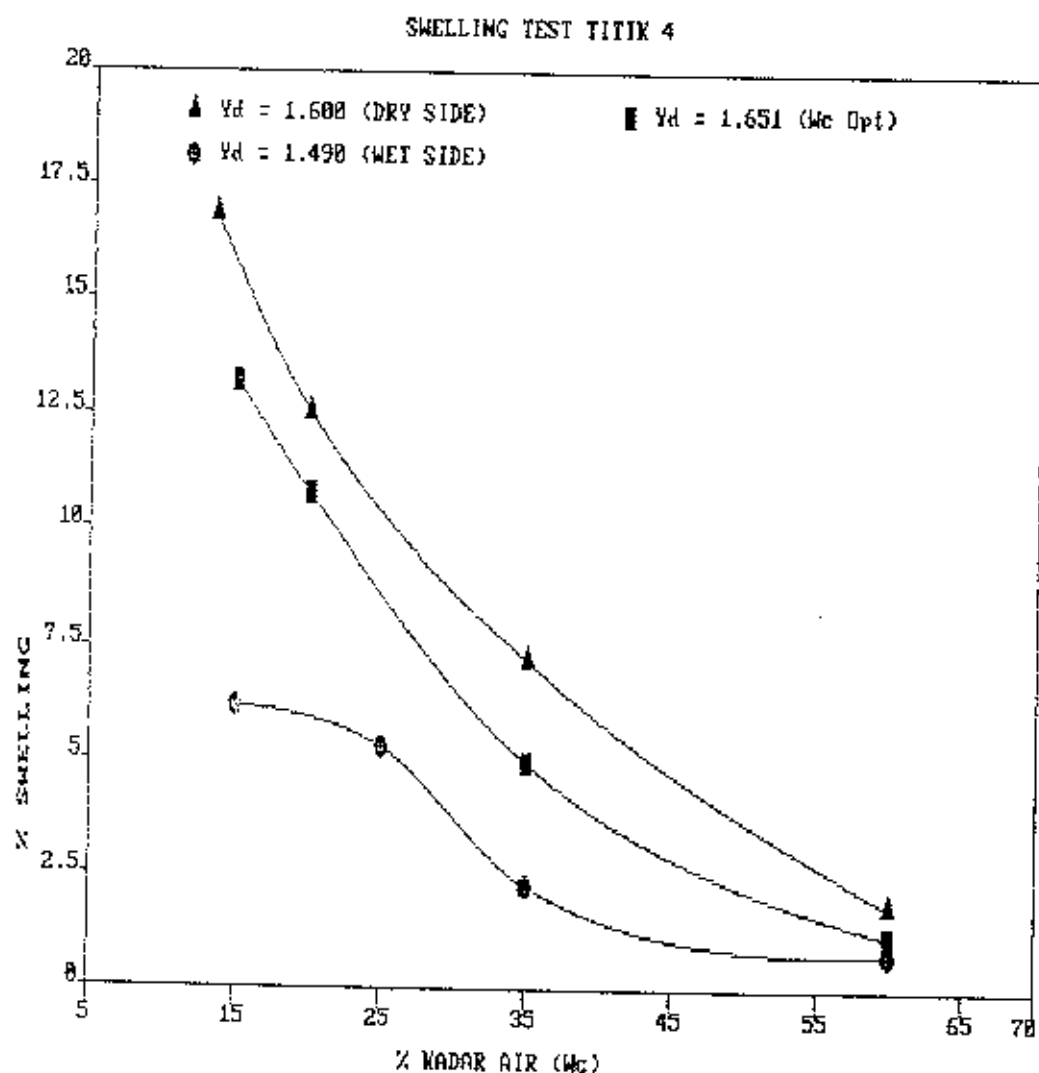
Dari Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa tanah dasar jalan Lakarsantri termasuk kedalam golongan lempung yang aktifitasnya normal dengan kandungan mineral lempung illite.

Sedangkan berdasarkan hasil test swelling, menunjukkan bahwa tanah dasar jalan Lakarsantri mempunyai sifat kembang

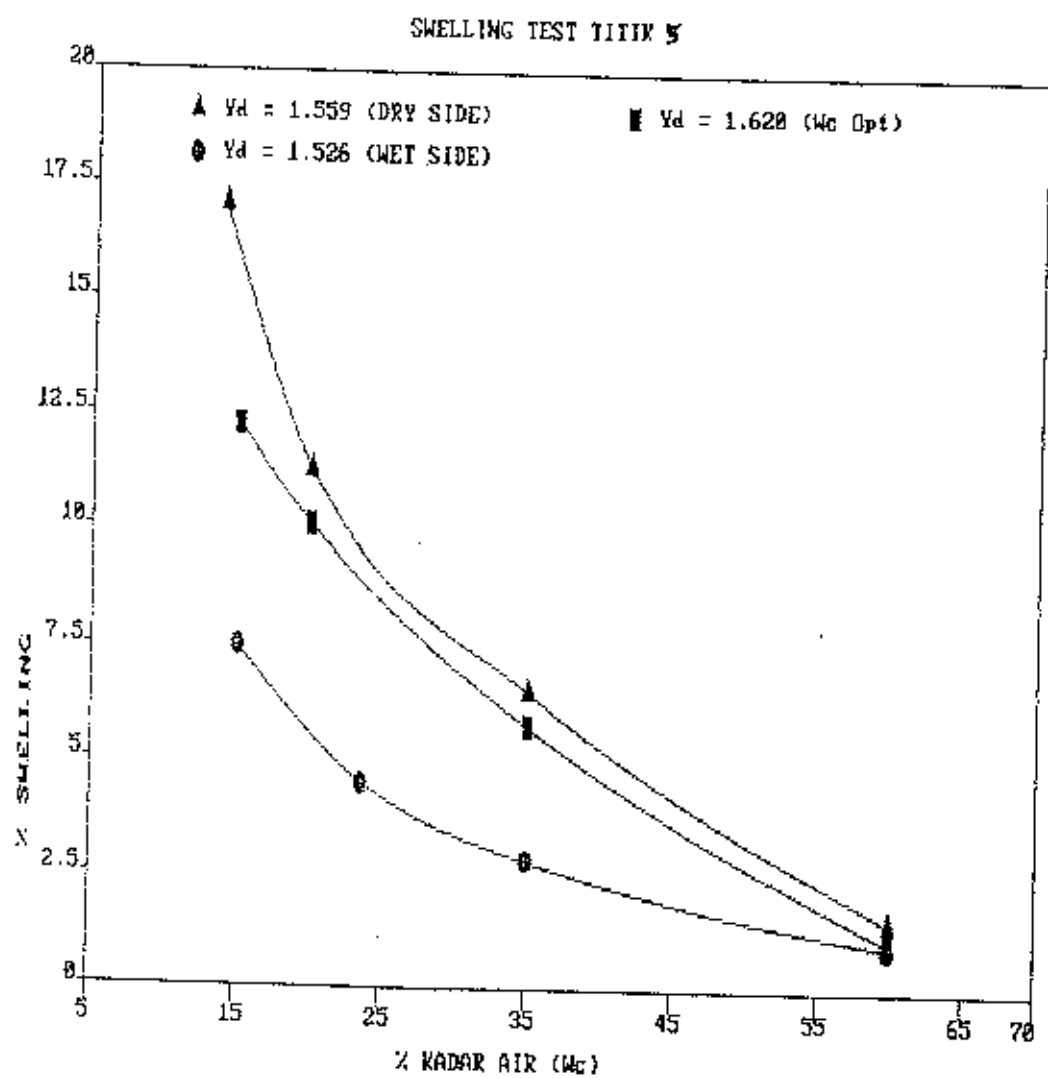
susut yang cukup besar. Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan antara kepadatan tanah dan kadar air (Gambar 4.7 sampai gambar 4.9) mengenai tingkat swelling yang terjadi.



Gambar 4.7. Nilai swelling test pada titik 3



Gambar 4.8. Nilai swelling test pada titik 4



Gambar 4.9. Nilai swelling test pada titik 5

Pada kondisi dry side dimana $\gamma_d < \gamma_{d \text{ maks}}$ dan $w_c < w_c \text{ optimum}$, ternyata nilai swellingnya paling besar, yaitu antara 1,35 % - 19 % (pada titik 3). Sedangkan pada kondisi γ_d (antara $\gamma_d \leq \gamma_{d \text{ maks}}$) dan $w_c = w_c \text{ optimum}$, nilai swellingnya masih cukup besar, walaupun terjadi penurunan nilai swelling menjadi 1,15 % - 13,15 % (pada titik 4). Untuk kondisi wet side dimana $\gamma_d < \gamma_{d \text{ maks}}$ dan $w_c > w_c \text{ optimum}$, terjadi penurunan nilai swelling menjadi semakin kecil, yaitu antara 0,75 % - 6,20 % (swelling terkecil pada titik 4).

Jadi berdasarkan hasil test swelling tersebut dapat dianalisis bahwa pada kondisi dry side nilai swellingnya paling tinggi. Hal ini karena pada kondisi dry side rongga butiran tanah lempung belum terisi air (dry), sehingga begitu air masuk akan terjadi perubahan volume pada tanah secara cepat. Perubahan volume yang cepat (besar) ini menyebabkan terjadinya swelling yang besar pada tanah tersebut. Sedangkan pada kondisi wet side nilai swelling yang terjadi menjadi semakin kecil. Hal ini karena pada kondisi wet side rongga butiran tanah sudah sepenuhnya terisi air sampai dalam keadaan jenuh air. Pada saat air masuk ke dalam tanah, maka perubahan volume yang terjadi tidaklah besar lagi. Sehingga nilai swelling yang terjadi pada kondisi wet side ini akan mengalami penurunan.

Sedangkan untuk menentukan tingkat swelling apakah ter-

Dengan mengeplotkan harga $A = 0,76$ dan besarnya % butiran lolos ayakan no.200 = 62,25 %, serta nilai swelling maksimum yang terjadi yaitu 18 % (titik 3) pada grafik Gambar 4.10 tersebut diatas, maka tanah dasar jalan Lakarsantri tergolong tanah yang mempunyai mempunyai tingkat swelling yang tinggi.

Jadi berdasarkan batasan-batasan di atas dapat disimpulkan bahwa tanah dasar jalan Lakarsantri mempunyai sifat kembang-susut yang besar. Akibat kembang-susut inilah terjadi kerusakan-kerusakan pada jalan tersebut. Oleh karena itu tanah dasar jalan Lakarsantri kurang memenuhi persyaratan atau kurang layak dijadikan subgrade jalan raya.

4.2.3. Analisa Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas Kendaraan.

Berdasarkan hasil survey counting terhadap arus lalu lintas kendaraan yang lewat jalan Lakarsantri pada bulan Juli 1993, didapatkan :

- LHR kendaraan ringan 2 ton = 3750 kendaraan/hari/2 arah.
- LHR truk kecil 8 ton = 340 kendaraan/hari/2 arah.
- LHR truk besar 18 ton = 65 kendaraan/hari 2 arah.
- LHR bus 8 ton = 13 kendaraan/hari/2 arah.

LHR tahun 1993 = 4168 kendaraan/hari/2 arah.

Sedangkan menurut hasil survey yang dilakukan pada tahun 1988, diperoleh data-data sebagai berikut :

- LHR kendaraan ringan 2 ton = 2400 kendaraan/hari/2 arah.
- LHR truk kecil 8 ton = 130 kendaraan/hari/2 arah.
- LHR truk besar 18 ton = 50 kendaraan/hari/2 arah.

$$\text{LHR tahun 1988} = 2600 \text{ kendaraan/hari/2 arah.}$$

Dari data-data tersebut menunjukkan adanya peningkatan volume lalu lintas kendaraan yang lewat di jalan Lakarsantri selama periode 1988 sampai 1993. Untuk mengetahui berapa besarnya faktor pertumbuhan lalu lintas pada tahun 1988-1993 dapat digunakan rumusan sebagai berikut :

$$\text{LHR}_{\text{pada tahun ke-}n} = \text{LHR}_{\text{pada tahun awal}} \times (1 + i)^n$$

Dari hasil survey lalu lintas selama periode 1988 - 1993, dapat diketahui :

$$\text{LHR}_{\text{pada tahun ke-5 (1993)}} = 4168 \text{ kendaraan/hari/2 arah.}$$

$$\text{LHR}_{\text{pada tahun awal (1988)}} = 2600 \text{ kendaraan/hari/2 arah.}$$

sehingga untuk $n = 5$ tahun, akan didapatkan :

$$4168 = 2600 (1 + i)^5$$

$$(1 + i)^5 = \frac{4168}{2600}$$

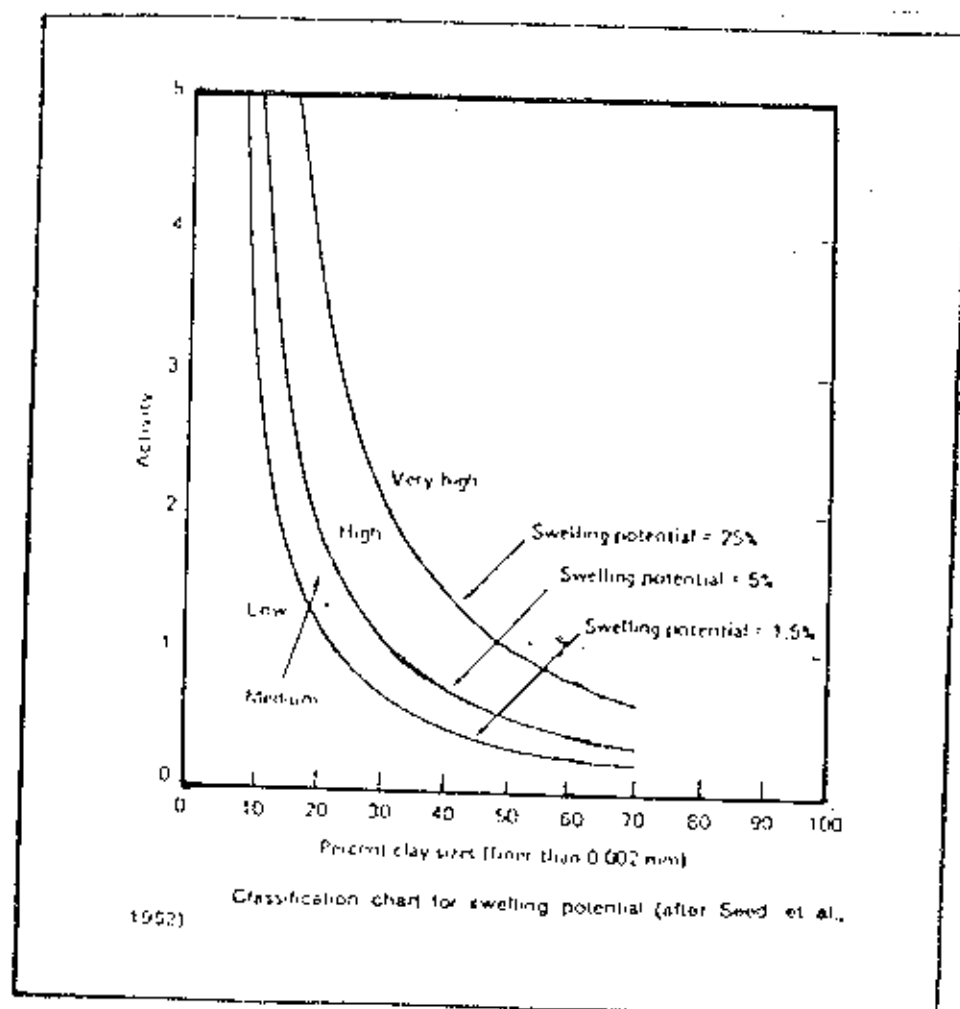
$$(1 + i)^5 = 1,6030769$$

$$\log (1 + i)^5 = \log 1,6030769$$

$$\begin{aligned}
 5 \log (1 + i) &= 0,2049544 \\
 \log (1 + i) &= \frac{0,2049544}{5} = 0,04099088 \\
 (1 + i) &= 10^{0,04099088} = 1,09898 \\
 i &= 1,09898 - 1 \\
 i &= 0,09898 \% = 9,898 \% \\
 i &= 10 \%
 \end{aligned}$$

Jadi faktor pertumbuhan lalu lintas kendaraan pada jalan Lakarsantri selama periode 1988-1993 adalah sebesar 10 % . Tingkat pertumbuhan sebesar 10 % ini dapat dianggap tinggi mengingat kondisi jalan yang ada merupakan jalan kelas III. Sehingga dapat dikatakan bahwa lalu lintas di jalan Lakarsantri tergolong lalu lintas tinggi. Jika kondisi jalan Lakarsantri saat ini tidak diperbaiki atau ditingkatkan kelas jalannya, maka hal ini dapat mempercepat dan memperbesar kerusakan jalan tersebut. Karena kemampuan daya dukung perkerasan jalan yang ada sudah tidak optimal lagi sehingga tidak mampu lagi mendukung beban lalu lintas yang melewatinya.

masuk tanah yang mempunyai sifat swelling yang besar atau kecil, dipakai suatu batasan untuk menentukannya. Batasan itu adalah berdasarkan tingkat "potensi swelling" atau tingkat kekuatan mengembang dari tanah dasar tersebut. Berdasarkan hubungan antara harga "Aktivitas" dan "clay fraction" diatas dapat diketahui potensi swelling tanah tersebut (dapat dilihat pada Gambar 4.10).



Gambar 4.10. Grafik potensial swelling.

BAB V

PENANGGULANGAN MASALAH KEMBANG-SUSUT TANAH PADA JALAN LAKARSANTRI

Berdasarkan hasil penyelidikan sifat fisik tanah dan analisis data yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diketahui bahwa tanah dasar jalan Lakarsantri kurang memenuhi persyaratan atau kurang layak dijadikan sebagai subgrade suatu jalan. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh kembang-susut yang besar pada tanah dasar tersebut. Kembang-susut yang besar ini terjadi karena adanya perubahan kadar air yang cepat, terutama pada saat perubahan musim. Sehingga pengaruh kembang-susut ini menyebabkan kerusakan pada badan jalan (perkerasan) seperti terjadi deformasi/lendutan, retak atau cracking, dan lain-lain.

Pengaruh kembang-susut pada jalan Lakarsantri tampak terlihat pada saat pergantian musim. Pada saat musim kemarau tanah dasar setempat langsung mengering karena terjadi penyusutan, bahkan timbul retak-retak pada tanah. Sedangkan pada awal musim hujan, tanah mulai mengembang. Karena ada pengaruh fluktuasi disamping penguapan air hujan, maka akan terjadi perubahan kadar air yang cepat. Pada kedalaman tertentu, tanah dasar jalan tersebut sudah mengalami swelling

yang cukup besar. Menjelang musim hujan berakhir sampai awal musim kemarau perubahan kadar air akan semakin cepat, sehingga tampak terlihat pengaruh kembang-susut pada jalan yang berupa kerusakan-kerusakan pada badan jalan tersebut. Hal tersebut diatas dapat dilihat pada Gambar 3.1 mengenai mekanisme kerusakan jalan akibat kembang-susut tanah dasar.

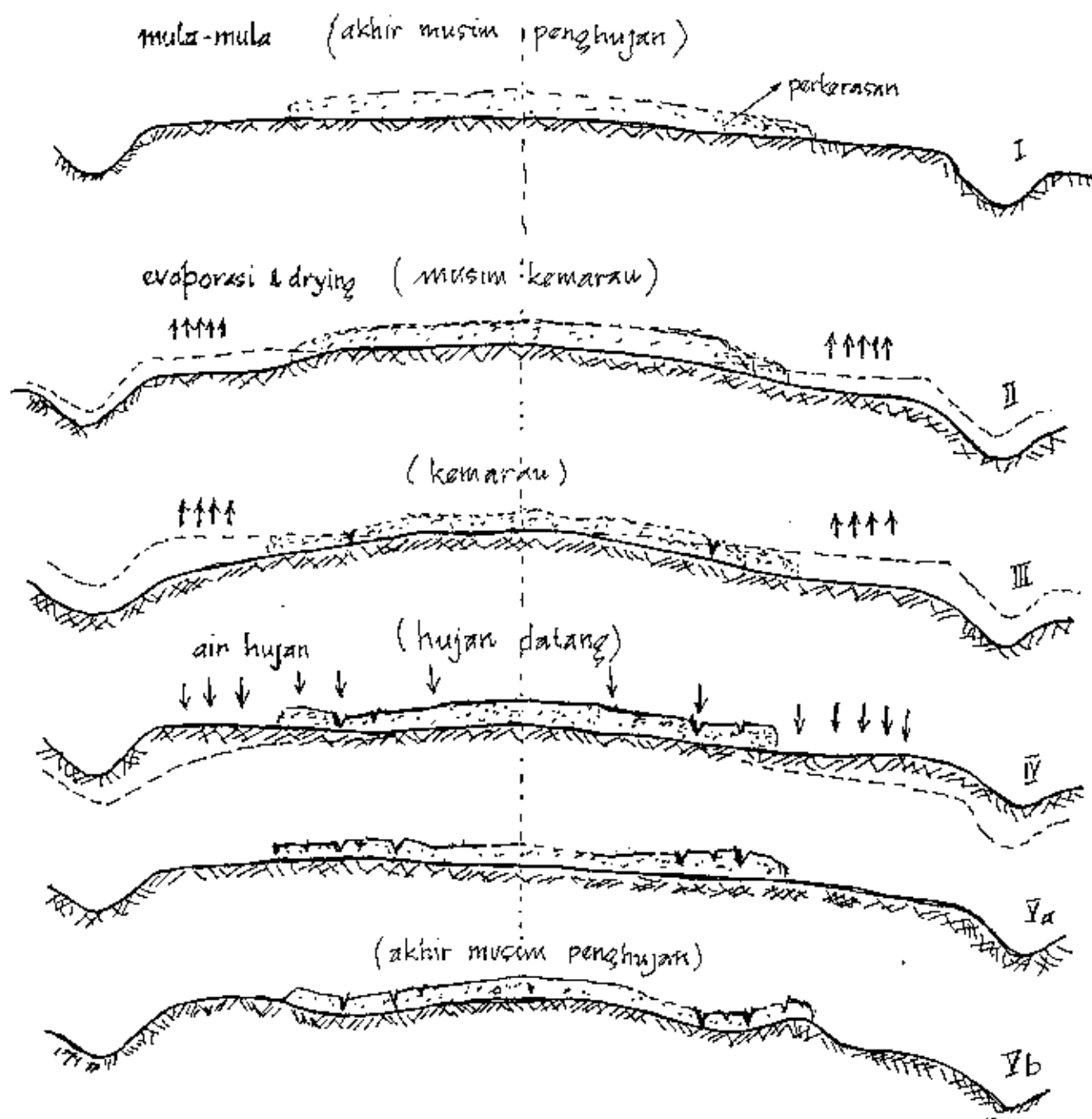
Oleh karena itulah untuk mengurangi dan mencegah lebih lanjut pengaruh kembang-susut tanah dasar harus dilakukan usaha perbaikan pada tanah dasar jalan Lakarsantri tersebut. Berdasarkan uraian diatas mengenai penyebab swelling pada tanah dasar jalan Lakarsantri, maka cara pemecahannya sesuai dengan pendekatan yang pertama yaitu mencegah terjadinya pengembangan dan penyusutan yang besar dari tanah itu sendiri. Adapun cara penanggulangan masalah tersebut yang paling sesuai dengan kondisi setempat (paling efektif dan efisien) serta mudah pelaksanaannya adalah dengan mencegah terjadinya perubahan kadar air dalam tanah.

Usaha-usaha yang harus dilakukan dalam mencegah perubahan kadar air tersebut adalah :

- a). Mencegah perubahan kadar air dengan menutup permukaan atau "covering" dengan lapisan kedap air.
- b). Menjaga kadar air tanah selalu basah (sedapat mungkin selalu jenuh air) sepanjang tahun.

Cara lainnya merupakan kombinasi dari kedua cara

tersebut diatas tetapi prinsipnya dan idenya sama.



Gambar 5.1. Mekanisme kerusakan jalan akibat kembang-susut tanah dasar.

5.1. Menutup (Covering) Permukaan Tanah Dengan Lapisan Kedap Air.

Cara ini dilakukan dengan menutup atau meng-cover permukaan tanah dasar di sisi kiri maupun sisi kanan sepanjang jalan dengan lapisan kedap air. Adapun lapisan kedap air yang digunakan dapat berupa :

- Asphalt sheet (lapisan aspal/penetrasi)
- Geomembrane

1). Menggunakan Lapisan Aspal.

Penggunaan lapisan aspal sebagai lapisan kedap air merupakan cara yang paling umum dilakukan (lebih efisien dan mudah pengerjaannya) dibanding dengan penggunaan lapisan kedap air dengan bahan yang lain.

Secara umum pelaksanaan dari cara tersebut adalah sebagai berikut :

- Menyediakan lahan tanah sepanjang sisi kiri maupun kanan jalan dengan jarak 4 - 5 meter yang diukur mulai dari tepi perkerasan jalan. Diusahakan ketinggian lahan tanah (bahu jalan) diratakan hampir sejajar dengan tepi perkerasan. Kemudian dipadatkan dengan alat mekanis.
- Setelah itu bahu jalan tersebut diberi lapisan sirtu dengan ketebalan tertentu sebagai lapisan pengikat

- dengan aspal (base). Lalu dipadatkan secara mekanis.
- Kemudian menutup atau meng-cover bahu jalan tersebut dengan lapisan aspal. Cara yang dilakukan adalah dengan menghampar langsung aspal pada permukaan bahu jalan, setelah itu dipadatkan lagi.
 - Ketinggian awal lapisan kedap air tersebut diusahakan sejajar dengan tepi perkerasan dan selanjutnya dibuat kemiringan tertentu (2 %) agar air dapat langsung mengalir ke drainage.
 - Memasang suatu pengaman jalan yang berupa pembatas jalan (kerb). Bentuk kerb yang digunakan adalah kerb T. Kemudian kerb ini dipasang pada pertemuan antara perkerasan dengan lapisan kedap air tersebut.
 - Melakukan perbaikan saluran (drainage) sepanjang sisi kiri dan kanan jalan. Hal ini harus dilakukan agar pengaliran dan pembuangan air berjalan lancar.

Jadi tujuan utama dari cara ini adalah untuk mencegah infiltrasi langsung dari air hujan kedalam tanah dan mencegah terjadinya penguapan air tanah yang cepat selama musim kemarau karena pengaruh sinar matahari. Untuk mempercepat pengaliran dan pembuangan air (hujan), maka lapisan aspal tersebut dibuat miring dengan ketinggian tertentu. Sehingga diharapkan kadar air dalam tanah di bawah badan jalan maupun

lapisan kedap air tersebut tidak banyak berubah sepanjang tahun dan dapat mengurangi pengaruh kembang-susut yang ada. Sedangkan untuk mencegah terjadinya kerusakan (keretakan) pada pertemuan antara perkerasan jalan dengan lapisan aspal maka dipasang pembatas jalan dengan bentuk sedemikian rupa sehingga keretakan yang terjadi pada pertemuan tersebut masih dapat menahan air untuk masuk ke dalam tanah.

2). Menggunakan Geomembran.

Geomembran merupakan salah satu bentuk dasar dari geosynthetic yang berbentuk lapisan tipis yang kedap air dan berfungsi menyerupai membran.

Ditinjau dari fungsi geomembran tersebut maka penggunaan geomembran sebagai lapisan kedap air ini adalah bertujuan untuk mencegah infiltrasi air (hujan) dari luar maupun evaporasi air tanah keluar. Jadi kadar air dalam tanah praktis tidak banyak berubah sepanjang tahun, sehingga tidak ada perubahan pada lapisan permukaan tanah yang berarti akibat pengaruh kembang-susut tanah.

Secara umum pelaksanaan pemasangan Geomembran sebagai lapisan kedap air untuk menanggulangi masalah kembang-susut tanah dasar jalan Lakarsantri adalah sebagai berikut :

- Pemasangan Geomembran dapat disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia (besar kecilnya lahan). Dikaitkan dengan

masalah penyediaan lahan yang ada maka penggunaan Geomembran juga memiliki aspek ekonomis, misalnya dapat menekan biaya untuk pembebasan tanah.

Lahan yang tersedia adalah 3 meter dan akan dimanfaatkan untuk lapisan kedap air (Geomembran)

- kekuatan tarik (tensile strength) dari Geomembran (nonreinforced) menurut sumber ICI Fibres (1986) adalah 10 - 50 kN/m. Berdasarkan kekuatan bahan tersebut direncanakan pemasangan Geomembran sedalam 0,5 meter.

Timbunan tanah setebal 0,5 meter tersebut dianggap sebagai beban yang bekerja di atas Geomembran.

- Penanaman Geomembran di dalam tanah dengan cara sedemikian rupa, kemudian dapat juga dipasang pembatas jalan (kerb) untuk mencegah terjadinya kerusakan pada lapisan Geomembran akibat hal-hal yang tidak diduga.

Kontrol kekuatan bahan (Geomembran) yang digunakan terhadap beban yang bekerja tersebut dianalisa sebagai berikut :

- Beban lapisan tanah dasar setebal 0,5 m adalah :

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \gamma_t \cdot h \\ &= 1,686 \times 50 \\ &= 84,3 \text{ gr/cm}^2\end{aligned}$$

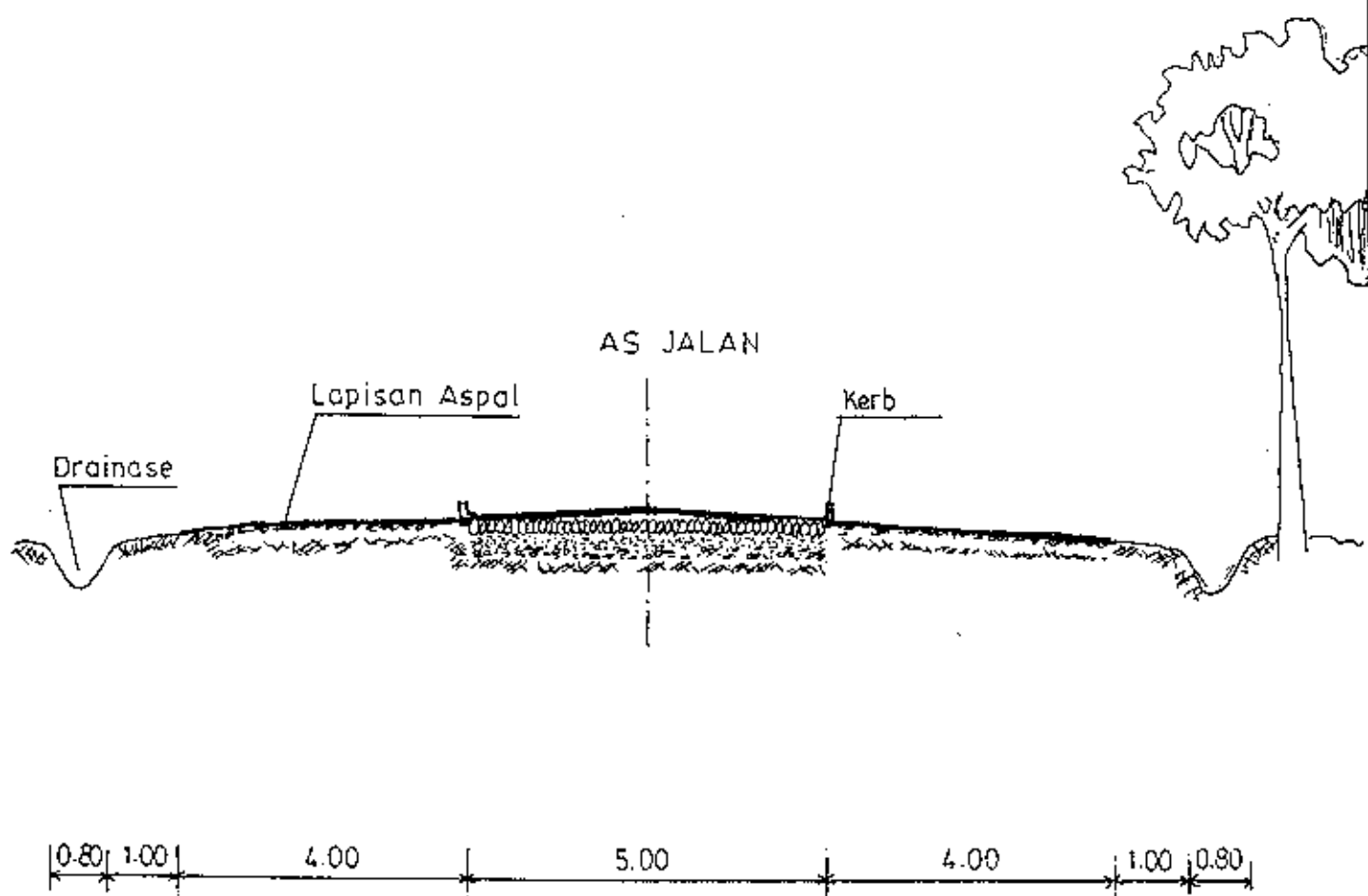
sehingga untuk 1 m panjang tanah, maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned}q_t &= 84,3 \text{ gr/cm}^2 \times 1 \text{ m} \\&= 84,3 \times 100 \\&= 8430 \text{ gr/cm} = 843 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

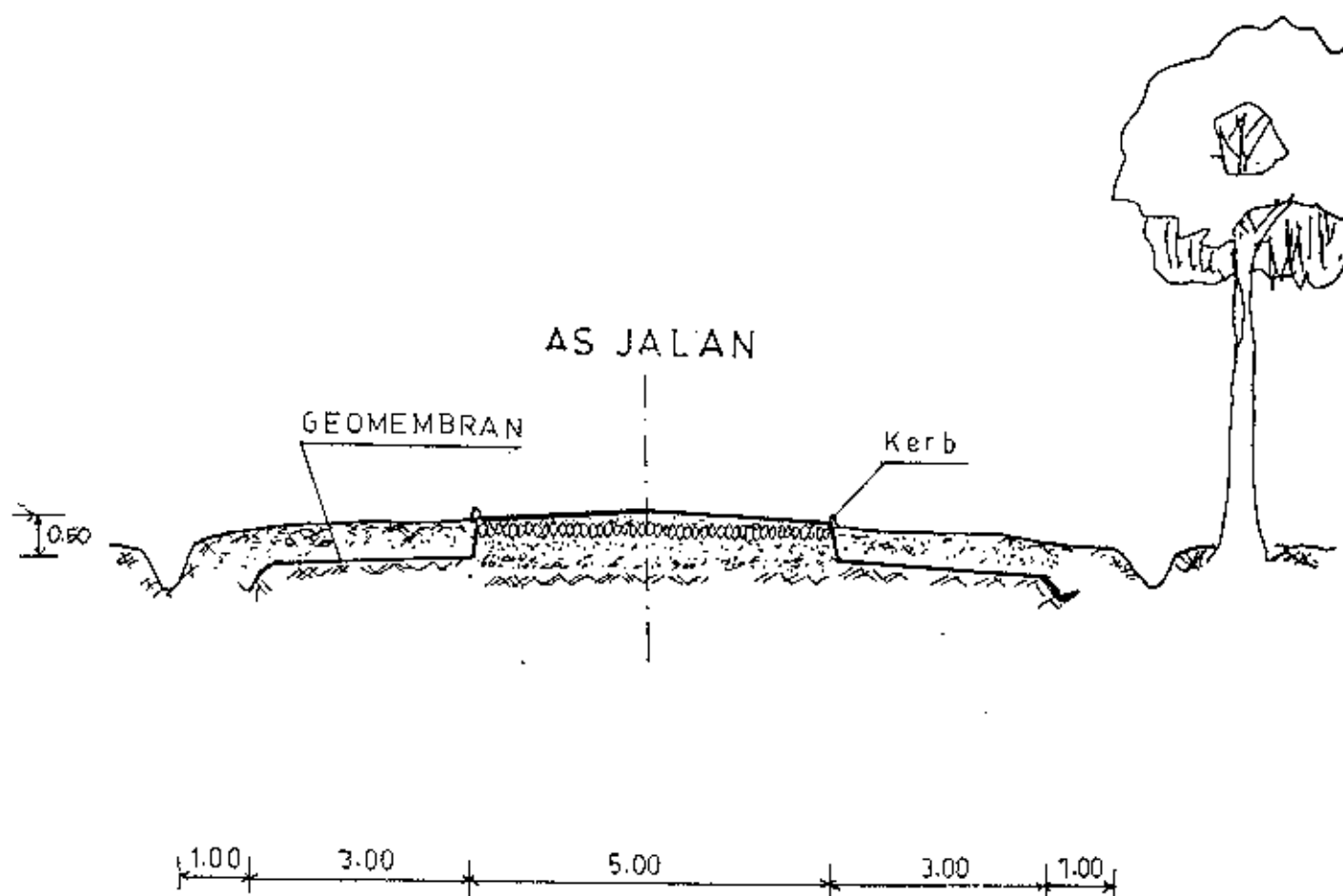
- Kekuatan bahan atau kekuatan tarik rencana dari Geomembran yang dipakai sebesar 20 kN/m atau 2000 kg/m, maka dapat diketahui :

$$\sigma_t \text{ Geomembran} > q_t \quad (\text{OK})$$

Jadi kedalaman yang direncanakan masih memenuhi batas persyaratan yang ada. Untuk mengetahui lebih jelas mengenai pelaksanaan pembuatan lapisan aspal dan pemasangan Geomembran sebagai lapisan kedap air dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.2. Penggunaan lapisan aspal sebagai lapisan kedap air



Gambar 5.3. Penggunaan Geomembran sebagai lapisan kedap air.

5.2. Menjaga Kadar Air Tanah Selalu Basah Sepanjang Tahun.

Cara ini dilakukan dengan sistem "ponding", yaitu mengalirkan air kedalam tanah sedemikian rupa sehingga tanah selalu terendam air/basah (kadar air stabil).

Sistem ponding ini dapat berupa:

- 1). Mengganti tanah dasar sepanjang sisi kiri maupun kanan jalan dengan tanah yang "baik".

Tanah yang "baik" yaitu tanah yang mempunyai sifat kembang-susut yang kecil. Biasanya tanah yang umum digunakan adalah pasir. Adapun tujuan dari cara ini adalah untuk mempertahankan kadar air tanah pada kedalaman tertentu agar tetap selalu stabil. Disamping itu juga diharapkan pengaruh swelling yang terjadi pada tanah dasar menjadi berkurang karena pada lapisan tanah penganti tersebut sudah tidak terjadi swelling, sehingga dapat menahan pergerakan tanah di bawahnya akibat pengaruh kembang-susut.

Secara umum pelaksanaan dari cara ini adalah :

- Menyediakan lahan tanah sepanjang sisi kiri maupun kanan jalan dengan jarak 4 - 5 meter yang diukur mulai dari tepi perkerasan jalan.
- Karena tinggi permukaan tanah dasar di lapangan rata-rata sejajar dengan perkerasan jalan, maka harus dilakukan penggalan, yaitu dicanangkan digali sedalam 1 meter.

Pemertuan kedalaman penggalan ini berdasarkan perhitungan

kedalaman kritis.

- Penggantian tanah dasar dengan tanah yang "baik" dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

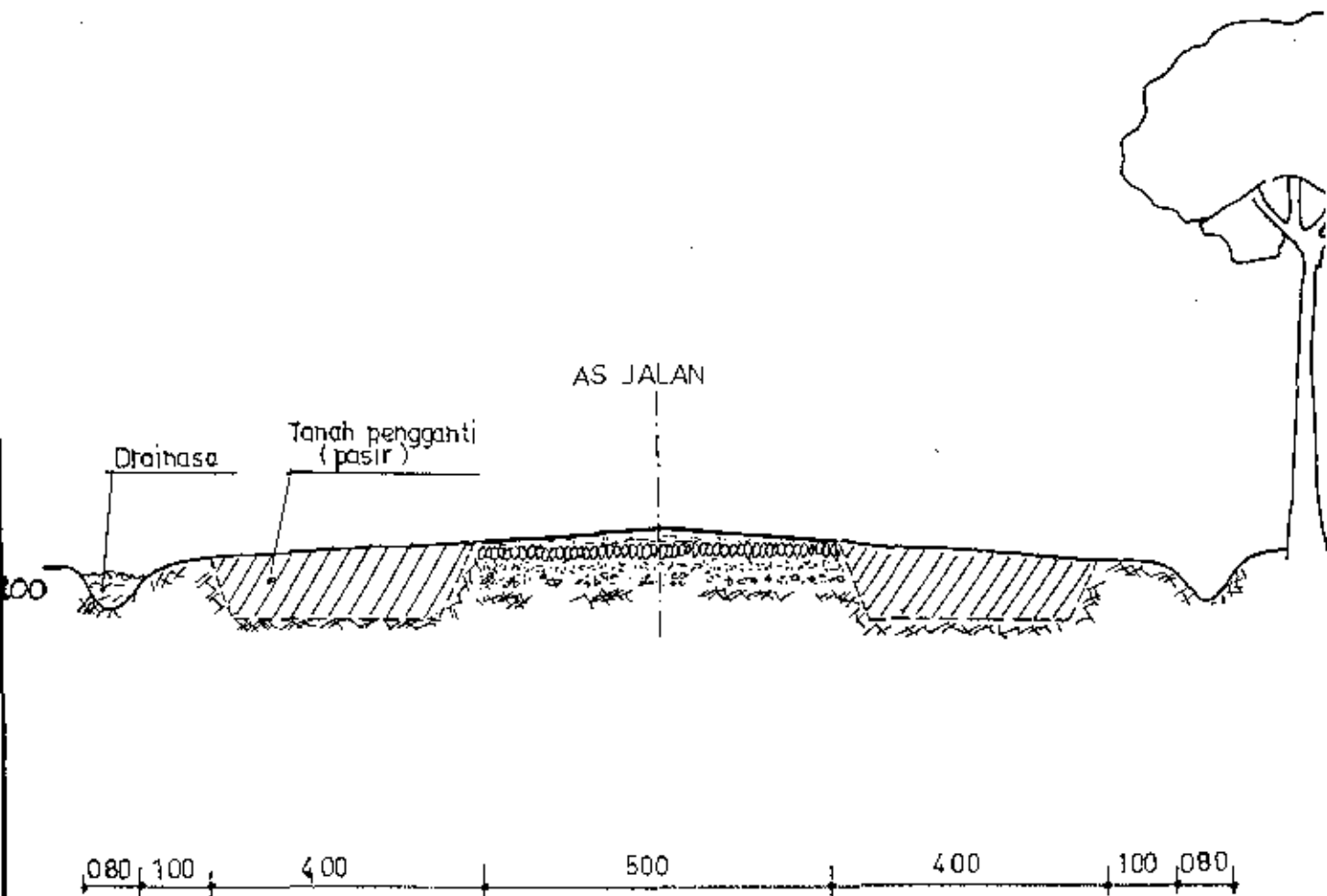
- a. Mengganti secara keseluruhan tanah dasar dengan tanah yang "baik".
- b. Mencampur tanah dasar dengan tanah yang "baik".

Adapun prosen (%) campurannya ditentukan atas dasar bahwa campuran tersebut dapat menurunkan nilai aktifitas (memperkecil Indeks Plastisitas) dari tanah dasar tersebut. Bahan campuran yang dipakai adalah pasir. Sehingga diharapkan dengan campuran tersebut dapat mengurangi kembang-susut dari tanah dasar. Penentuan prosentasi campuran tidak dilakukan mengingat terbatasnya waktu dan peralatan yang tersedia.

Kedua alternatif a dan b di atas, disamping dapat menurunkan tingkat kembang-susut tanah dasar juga mempunyai nilai ekonomis yang berbeda. Untuk itulah dalam pemilihan alternatif yang akan dipakai harus didasarkan pada analisa biaya yang paling ekonomis.

- Kemudian tanah dasar yang telah diganti atau dicampur dengan pasir tersebut diratakan dan dipadatkan. Sebaiknya diratakan sejajar tepi perkerasan dan dibuat kemiringan tertentu.
- Perbaiki drainage sepanjang kiri maupun kanan jalan.

Untuk mengetahui lebih jelas mengenai penggantian tanah dasar dengan tanah yang "baik" atau pasir dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Penggantian tanah dasar dengan tanah yang "baik"

2). Membuat vertikal drain yang berupa sand drain/sand column.

Secara umum pelaksanaan dari cara ini adalah :

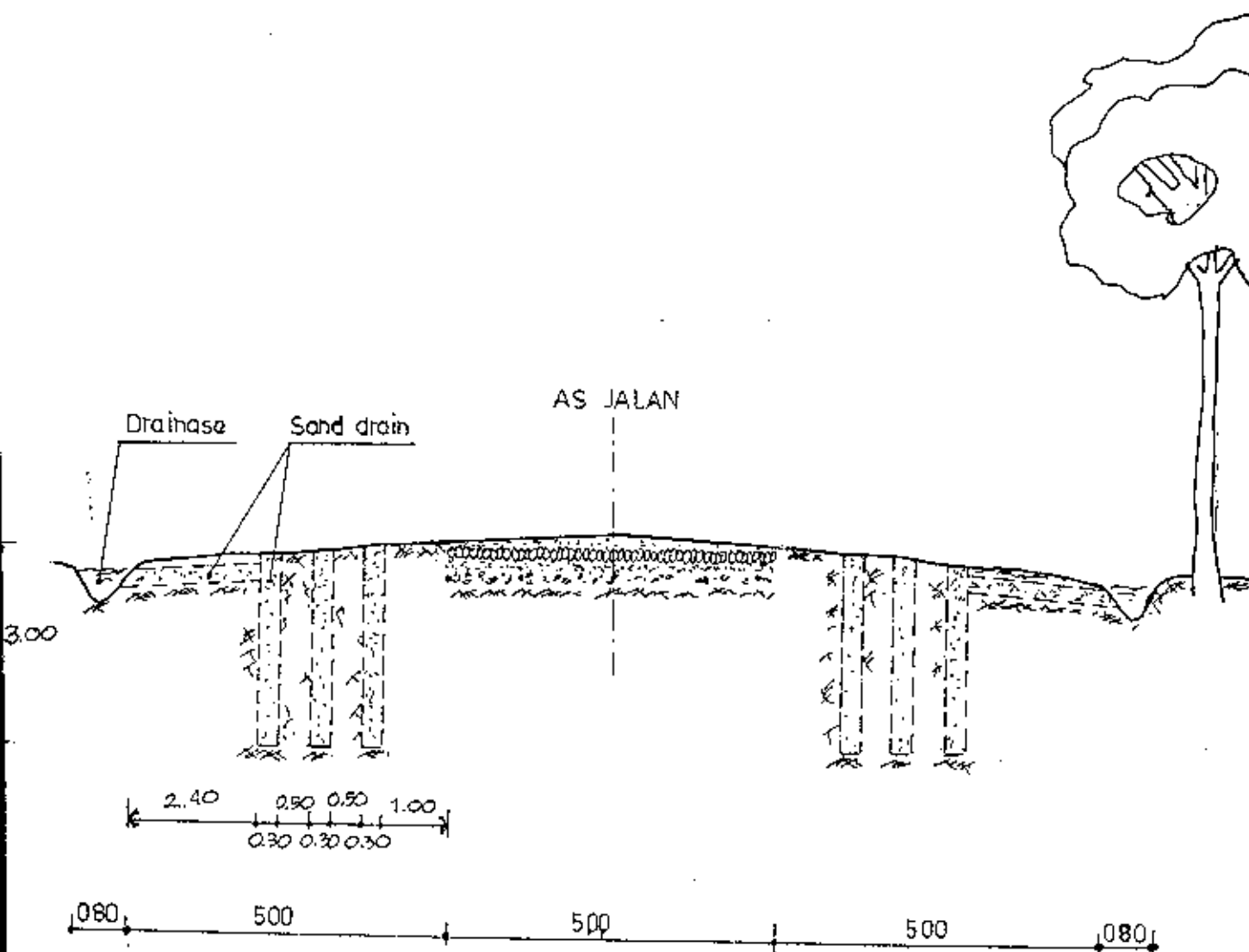
- Menyediakan lahan tanah sepanjang kiri dan kanan jalan dengan jarak 4 - 5 meter.
- Kemudian dibuat sumuran sedalam 3 m, lalu diisi dengan pasir. Dalam perencanaan, diameter vertikal drain direncanakan 30 cm dengan menggunakan bor pile. Jarak vertikal drain dari tepi perkerasan 1 m, sedangkan jarak antara vertikal drain yang satu dengan yang lainnya baik untuk arah memanjang maupun arah melebar adalah 0,80 m.

Penentuan jarak antara ini berdasarkan perhitungan dimana debit air yang dapat dialirkan oleh vertikal drain tersebut merupakan debit maksimum dari air hujan rata-rata yang ada.

- Kedalaman sumuran sampai 3 m ini berdasarkan asumsi kemampuan sinar matahari menembus masuk kedalam tanah mencapai 2 m. Sehingga pengaruh sinar matahari terhadap penguapan air dalam tanah dapat dikurangi. Akhirnya air dapat dialirkan/dibuang masuk kedalam tanah, dimana dengan adanya penambahan air ini maka kadar air dalam tanah di bawahnya tidak mempunyai pengaruh lagi.
- Disamping itu pula agar pengaliran/pembuangan air tidak hanya secara vertikal ke bawah, maka dapat dibuat pula

sand drain secara horisontal. Jadi dari sand drain vertikal langsung dihubungkan menerus dengan sand drain horisontal menuju drainase. Fungsi sand drain horisontal ini adalah untuk mengantisipasi kelebihan debit air hujan yang dapat dialirkan oleh sand drain vertikal jika terjadi hujan yang terus menerus.

Jadi tujuan utama dari cara vertikal drain adalah untuk mempertahankan kadar air tanah pada kedalaman tertentu agar tetap selalu stabil. Disamping itu juga diharapkan pergerakan tanah yang terjadi akibat pengaruh kembang-susut yang disebabkan adanya peningkatan kadar air atau penambahan air hujan dari permukaan tanah dasar yang mengalir melalui vertikal drain menuju ke dalam tanah menjadi tidak berarti (kecil). Untuk lebih jelasnya mengenai pembuatan sand drain dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Sistem sand drain/sand column

Adapun perencanaan jumlah vertikal drain yang diperlukan ditentukan berdasarkan perhitungan bahwa debit vertikal drain sama dengan debit air hujan yang dapat ditampungnya.

► Menentukan debit air hujan.

- Persamaan umum rasional yang dipakai :

$$Q = 0,278 \text{ c.i.I.A}$$

dimana :

Q = debit air hujan (m^3/dt)

c = koefisien pengaliran (berdasarkan data hujan)

I = intensitas hujan rata-rata (mm/jam)

A = luas daerah hujan (km^2).

Untuk menentukan besarnya intensitas (lama hujan) untuk kota Surabaya yaitu dengan menggunakan persamaan Talbot :

- Untuk periode 5 tahun :

$$I_5 = \frac{6965}{D + 36} = \frac{6965}{T_0 + 36}$$

dimana : I_5 = intensitas hujan 5 tahunan

$D = T_0$ = waktu pengumpulan (jam).

Sedangkan untuk menentukan besarnya T_0 dapat dicari dengan persamaan Kirpich :

$$T_0 = 0,0195 \left[\frac{L}{S^{0,5}} \right]^{0,77}$$

$$S = \frac{4h}{L}$$

dimana : S = kemiringan daerah aliran hujan

h = selisih elevasi maksimum dan elevasi minimum daerah aliran hujan

L = panjang daerah aliran hujan.

- Perhitungan debit air hujan :

Berdasarkan data hujan rata-rata yang terjadi di daerah Lekersantri, didapatkan :

> Waktu pengumpulan (T_o) :

$$S = \frac{\Delta h}{L} = \frac{9,70 - 7,46}{2000} = 0,00112$$

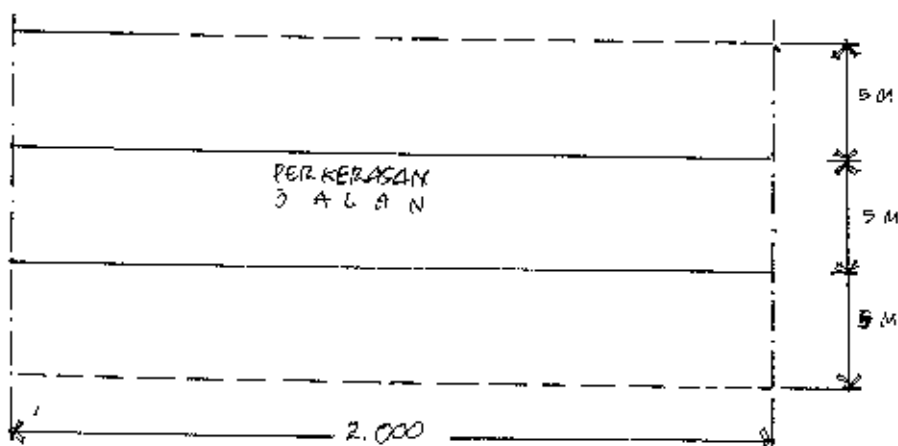
maka dapat diketahui bahwa :

$$T_o = 0,0195 \left[\frac{2000}{(0,00112)^{0,5}} \right]^{0,77} = 92,87 \text{ menit} = 1,548 \text{ jam}$$

> Intensitas hujan (I) :

$$I_s = \frac{6965}{1,548 + 36} = 185,496 \text{ mm/jam}$$

> Luas daerah aliran hujan :



Luas daerah aliran hujan yang ditentukan adalah :

$$\begin{aligned} A &= (5 + 5) \times 2000 \\ &= 20.000 \text{ m}^2 = 0,002 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Setelah faktor-faktor diatas diketahui dan besarnya koefisien pengaliran (c) untuk daerah Lakarsantri yang merupakan daerah pemukiman adalah 0,5 , maka debit air hujan yang terjadi dapat dihitung, yaitu :

$$\begin{aligned} Q &= 0,278 \text{ c.i.A} \\ &= 0,278 \times 0,5 \times 185,496 \text{ mm/jam} \times 0,002 \text{ km}^2 \\ &= 0,516 \text{ m}^3/\text{dt.} \end{aligned}$$

► Menentukan debit air yang ditampung vertikal drain.

- Persamaan dasar yang digunakan adalah persamaan Darcy (1956) :

$$Q = k.i.A$$

dimana :

Q = debit air yang ditampung vertikal drain (m^3/dt)

A = luas permukaan vertikal drain (m^2)

k = koefisien permeabilitas

= untuk tanah pasir digunakan harga $k = 0,01 \text{ cm/dt}$

Untuk mencari besarnya i digunakan perumusan :

$$\begin{aligned} i &= \frac{\Delta h}{L} = \frac{\text{selisih muka air hujan dengan m.a.t}}{\text{panjang vertikal drain}} \\ &= \frac{15}{3} = 5 \end{aligned}$$

- Perhitungan luasan total vertikal drain :

Ditentukan bahwa : $Q_{vd} = Q_{\text{air hujan}} = 0,516 \text{ m}^3/\text{dt}$,
maka :

$$Q_{vd} = k i A$$

$$0,516 \text{ m}^3/\text{dt} = (0,01 \text{ cm}/\text{dt} \times 5) A$$

$$0,516 = A (0,01 \times 0,01 \times 5) A$$

$$A = 1032 \text{ m}^2$$

Jadi luasan total vertikal drain untuk dapat menampung debit air hujan yang ada adalah : $A_t = 1032 \text{ m}^2$.

► *Menentukan jumlah vertikal drain yang digunakan.*

Untuk menentukan jumlah vertikal drain yang diperlukan dapat digunakan perumusan sebagai berikut :

$$n = \frac{A_t}{A_{vd}}$$

dimana : n = jumlah vertikal drain yang diperlukan

A_t = luasan total vertikal drain = 1032 m^2

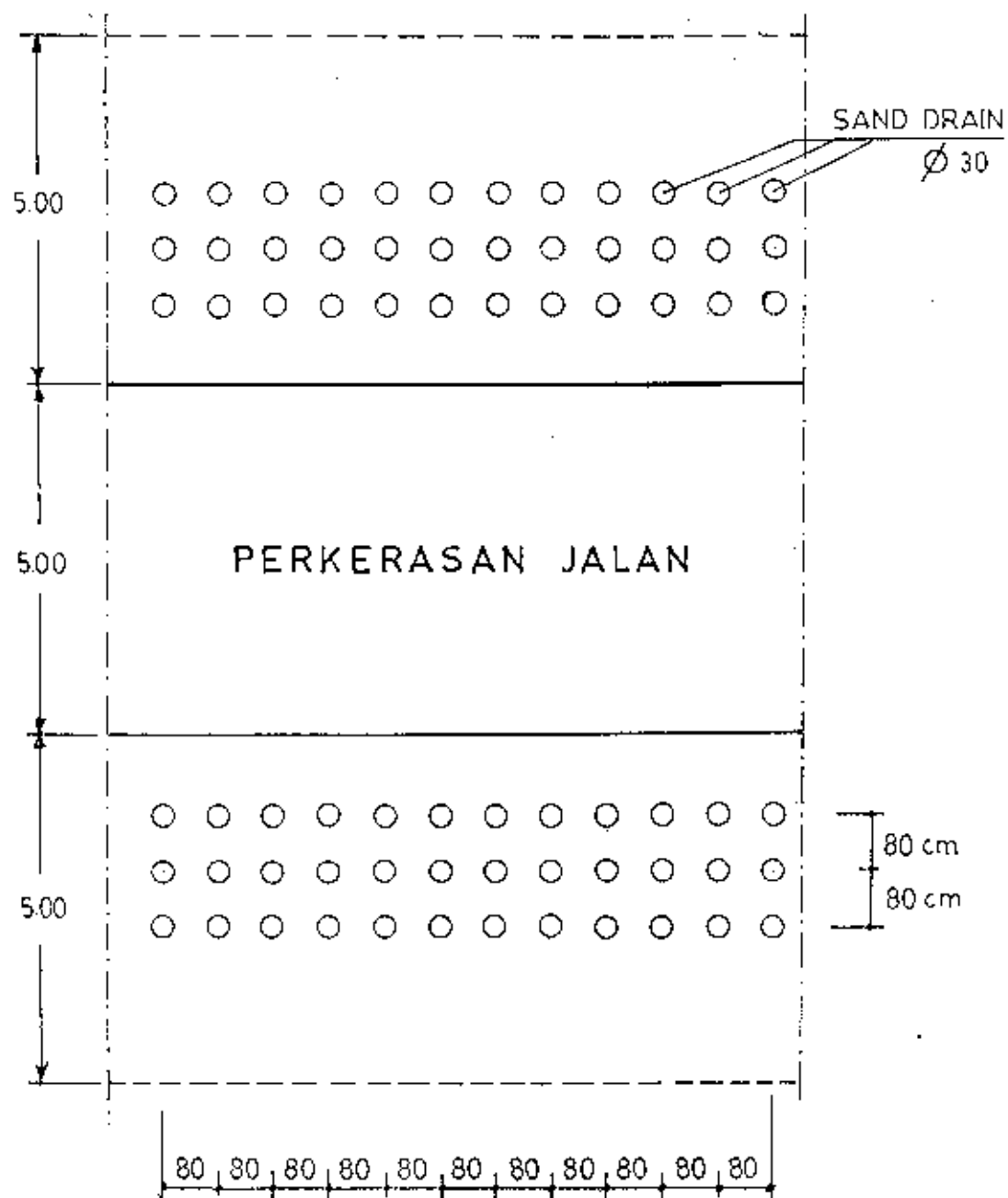
A_{vd} = luas satu buah vertikal drain.

Jika direncanakan diameter vertikal drain = $30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$
berarti luas vertikal drain = $A_{vd} = 0,071 \text{ m}^2$, maka :

$$n = \frac{1032}{0,071} = 14600 \text{ buah}$$

Untuk masing-masing sisi jalan diperlukan 7300 vertikal drain. Sedangkan pengaturan letak dan jarak vertikal drain

dapat dilihat pada gambar berikut di bawah ini :



Sedangkan cara lain merupakan kombinasi dari cara pertama dengan cara kedua, yaitu menutup atau meng-cover permukaan tanah dasar dan mengganti tanah dasar dengan tanah yang "baik". Dengan memanfaatkan saluran yang ada maka saluran tersebut diharapkan mempunyai fungsi ganda, yaitu tidak hanya sebagai tempat pembuangan/pengaliran air, tetapi dapat juga mengalirkan kembali air tersebut kedalam tanah.

Secara umum pelaksanaan dari cara ini adalah :

- Menyediakan lahan sepanjang kiri dan kanan jalan dengan jarak 4 - 5 m dari tepi perkerasan.
- Kemudian digali sedalam 1 m dan diganti dengan tanah yang "baik". Setelah itu dipadatkan dan diratakan. Di samping itu harus dibuat kemiringan tertentu agar air mudah mengalir ke saluran.
- Lalu lahan tanah tersebut ditutup atau dicover dengan lapisan kedap air (lapisan aspal). Sehingga air tidak langsung masuk ke dalam tanah pada lahan tersebut.
- Perbaikan saluran/drainage sepanjang jalan harus dilakukan.

Gambar pelaksanaan dari cara ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Dari beberapa alternatif yang diuraikan diatas dapat dibuat suatu skala prioritas pemilihan alternatif yang terbaik. Skala prioritas ini didasarkan pada beberapa hal yang berkaitan langsung selama pelaksanaan nantinya, yaitu :

- Harus sesuai dengan kondisi daerah setempat (lingkungan sekitar daerah tersebut).
- Efisiensi dan efektifitas dalam pelaksanaan kerja maupun waktu pelaksanaan. Hal ini berkaitan dengan tingkat kesulitan selama pelaksanaan dari tiap-tiap alternatif yang akan dipilih.
- Kondisi lalu lintas harian yang melewati jalan tersebut. Semakin padat lalu lintasnya akan mempengaruhi kelancaran pelaksanaan, atau sebaliknya.
- Faktor ekonomis dari tiap-tiap alternatif merupakan yang paling penting. Faktor ekonomis ini tak lain didasarkan juga atas pertimbangan dari faktor-faktor diatas.

Sehingga dari pertimbangan semua faktor-faktor tersebut dapat ditentukan skala prioritas dari tiap-tiap alternatif yang ada, yaitu :

1. Menutup (covering) permukaan tanah dengan lapisan kedap air (lapisan aspal/penetrasi).
2. Mengganti tanah dasar dengan tanah yang "baik" yaitu

dengan lapisan pasir.

3. Membuat sand drain/sand column.

4. Kombinasi antara penggantian tanah dasar dengan tanah yang "baik" dan lapisan kedap air (aspal).

Jadi beberapa alternatif penanggulangan terhadap masalah kembang-susut pada subgrade jalan Lakarsantri yang telah diuraikan diatas adalah cara-cara yang paling mungkin dilaksanakan dan sesuai dengan kondisi setempat. Mengingat juga bahwa perbaikan jalan tersebut dilakukan pada jalan yang sudah ada bukan pada jalan baru. Disamping itu juga biaya merupakan faktor yang paling menentukan dalam pemilihan alternatif yang terbaik.

5.3. Analisa Perhitungan Kedalaman Kritis (H_{cr}).

Yang dimaksudkan dengan kedalaman kritis adalah batas kedalaman tertentu pada saat tanah akan dipotong atau digali sudah tidak ada lagi kemungkinan terjadi longsor (sliding). Jika semula direncanakan kedalaman penggalian adalah 2 m, hal ini tidak lain didasarkan pada asumsi bahwa pengaruh kekuatan sinar matahari menembus sampai kedalaman tanah dasar mencapai 2 m. Sinar matahari ini sangat berpengaruh sekali pada kecepatan penguapan air, yang akhirnya dapat mempengaruhi kestabilan kadar air dalam tanah.

Untuk itulah perlu dilakukan perhitungan kedalaman kritis agar tidak terjadi kelongsoran (sliding) pada saat penggalian. Berdasarkan hasil test Unconfined compresion test, didapatkan bahwa kekuatan tekan tanah pada kondisi W_c optimum adalah $q_u = 0,107 \text{ kg/cm}^2$.

Berdasarkan analisa stabilitas pada tanah lempung dengan $\phi = 0$ (kondisi undrained) didapatkan perumusan :

$$\tau_f = c_u = \frac{q_u}{2}$$

dimana : τ_f = tegangan geser tanah

q_u = kekuatan tekan tanah

c_u = kohesi

sehingga dapat dihitung : $c_u = \frac{0,107}{2} = 0,0535 \text{ kg/cm}^2$.

Sedangkan perhitungan untuk menentukan kedalaman kritis agar tidak terjadi kelongsoran dapat dihitung dengan rumus :

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma m} \quad ; \quad (F_s = 1)$$

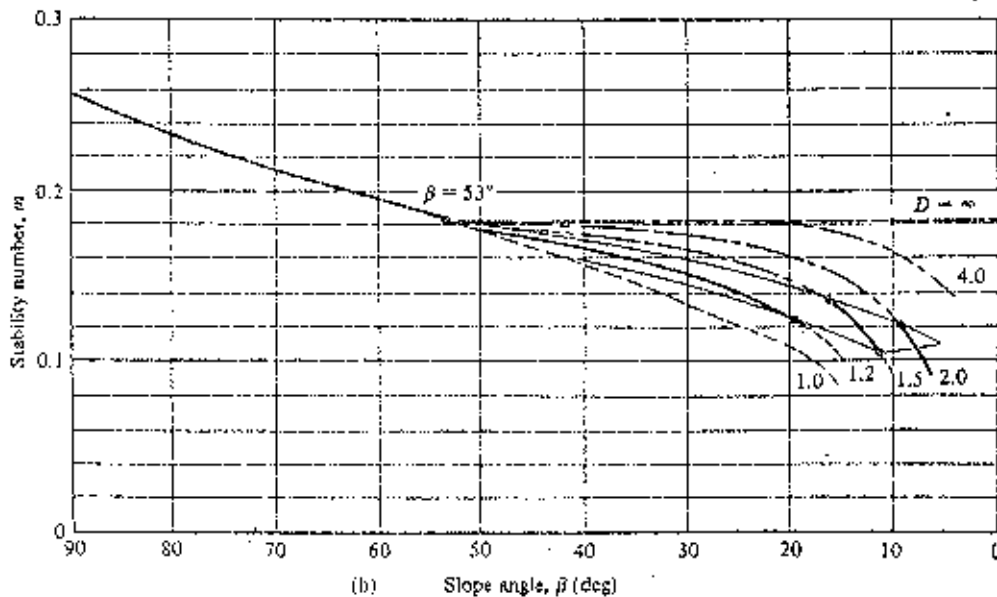
dimana : H_{cr} = kedalaman kritis

γ = berat volume tanah

m = faktor stabilitas (stability number)

F_s = faktor keamanan

Harga faktor stabilitas (m) dapat ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara sudut penggalian (β) dan stability number (m) seperti pada Gambar 5.6.



Gambar 5.7. Nilai faktor stabilitas (m)

Jika direncanakan sudut penggalian tanah (β) = 70° , maka berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 akan didapatkan nilai $m = 0,216$.

Sehingga kedalaman kritis dapat dihitung :

$$H_{cr} = \frac{0,0535 \text{ kg/cm}^2}{0,216(1,68 \text{ gr/cm}^3)} = 1,47 \text{ m}$$

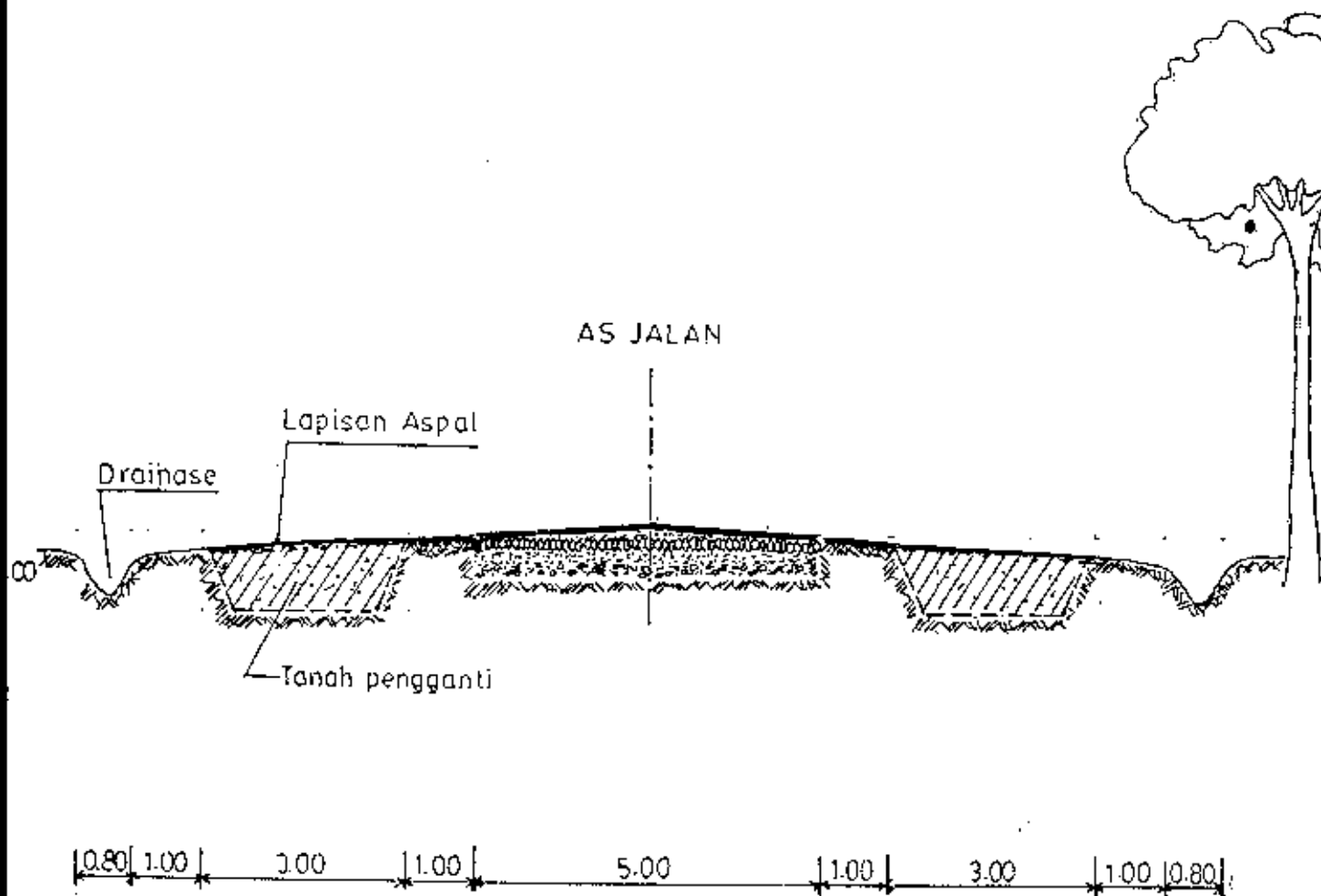
Ternyata kedalaman rencana ($H = 2 \text{ m} > H_{cr} = 1,47 \text{ m}$).

Jadi kedalaman rencana sebesar 2 m tidak memenuhi persyaratan diatas, karena akan menyebabkan terjadinya longsor pada badan jalan.

Oleh karena itu perlu direncanakan lagi kedalaman penggalian tanah. Jika direncanakan kedalaman penggalian tanah = 1 m, maka :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{cu}{\gamma_m h} \\ &= \frac{0,0535 \text{ kg/cm}^2}{(1,68 \text{ gr/cm}^3) \times 0,216 \times 100 \text{ cm}} \\ &= 1,50 > 1 \qquad \qquad \qquad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan perhitungan diatas kedalaman penggalian tanah sedalam 1 m dapat dilakukan, karena pada kedalaman tersebut kemungkinan terjadinya longsor sangat kecil.



Gambar 5.6. Kombinasi antara lapisan kedap air dengan penggantian tanah dasar.

BAB VI

PERENCANAAN PERKUATAN PERKERASAN JALAN LAKARSANTRI

6.1. SURVEY KONDISI KERUSAKAN JALAN LAKARSANTRI

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, ternyata pada jalan Lakarsantri banyak sekali dijumpai beberapa macam jenis kerusakan terutama pada perkerasan jalan tersebut. Untuk mengetahui sampai sejauh mana tingkat kerusakan jalan tersebut perlu dilakukan suatu metode penilaian kerusakan jalan. Adapun metode yang digunakan untuk menilai tingkat kerusakan jalan Lakarsantri adalah dengan metode Indrasurya dan Dirgol-laksone.

Hasil dari survey kondisi permukaan jalan dengan metode Indrasurya-Dirgol-laksone dapat dilihat pada tabel 6.1. Jenis-jenis kerusakan pada perkerasan jalan Lakarsantri dibagi dalam beberapa klasifikasi kerusakan yang telah ditentukan.

Tabel 6.1. hasil Survey Kondisi Permukaan Jalan

Jenis Kerusakan	% Kerusakan (Np)	Faktor Pengali (Fp)	Σ Kerusakan (Nj = Np.Fp)
Potholes	15	6	90
Ravelling	4	2	8
Longitudinal cracking	15	1	15
Profile distortion	15	2	30
Alligator cracking	5	2	10
Block cracking	6	1	6
Depression	15	2	30
Edge distortion	10	0,25	2,5
			Nr = 191,5

Kemudian untuk mengetahui faktor pengali dan pembagian kategori kerusakan dapat dilihat pada Tabel 6.2 berikutnya.

Tabel 6.2. Faktor Pengali dan Pembagian Katagori Kerusakan

KLASIFIKASI	JENIS KERUSAKAN	FAKTOR PENGALI
I	- Potholes	6
II	- Ravelling-weathering - Alligator cracking - Depression, upheavel, corrugation, shoving.	2
III	- Transverse cracking - Longitudinal cracking - Block cracking - Shrinkage cracking - Rutting	1
IV	- Patching - Edge deterioration - Flushing/Excess asphalt	0,25

Nilai kenyamanan : $N_n = 55$ (tidak nyaman)

Nilai gabungan kondisi (N_g) :

$$\begin{aligned}
 N_g &= 0,5 N_r + 0,5 N_n \\
 &= 0,5 \times 191,5 + 0,5 \times 55 \\
 &= 123,25
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 6.3 dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi jalan Lakarsantri adalah jelek.

Tabel 6.3. Hubungan Antara Nilai Gabungan Kondisi
dengan Nilai Kondisi Permukaan.

Kondisi	Nilai Kondisi Permukaan	Nilai Gabungan Kondisi
Sangat baik	8 - 10	20 - 30
B a i k	6 - 8	30 - 50
Sedang	4 - 6	50 - 75
Jelek	< 4	75 - 150

(Sumber : Manual Penilaian Kondisi Permukaan Jalan).

Sedangkan untuk mengetahui nilai kondisi perkerasan jalan Lakarsantri dapat digunakan pedoman Bina Marga (1981) mengenai nilai kondisi perkerasan jalan (lihat tabel 6.4).

Berdasarkan hasil survey kondisi permukaan perkerasan jalan, dapat diketahui nilai kondisi perkerasan jalan Lakarsantri saat ini adalah :

- Untuk lapis permukaan (surface) nilainya 50 %
- Untuk lapis pondasi atas (base) dengan pondasi macadam atau batu pecah nilainya 80 %
- Untuk lapis pondasi bawah nilainya 90 %

Tabel 6.4. Nilai Kondisi Permukaan Jalan

Nilai Kondisi Perkerasan Jalan

1. Lapis Permukaan :	
Umumnya tidak retak, hanya sedikit deformasi pada jalur roda	90 – 100%
Terlihat retak halus, sedikit deformasi pada jalur roda namun masih tetap stabil	70 – 90%
Retak sedang, beberapa deformasi pada jalur roda, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70%
Retak banyak, demikian juga deformasi pada jalur roda, menunjukkan gejala ketidak stabilan	30 – 50%
2. Lapis Pondasi :	
a. Pondasi Aspal Beton atau Penetrasi Macadam.	
Umumnya tidak retak	90 – 100%
Terlihat retak halus, namun masih tetap stabil	70 – 90%
Retak sedang, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70%
Retak banyak, menunjukkan gejala ketidak stabilan	30 – 50%
b. Stabilisasi Tanah dengan Semen atau Kapur :	
Indek Plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 10	70 – 100%
c. Pondasi Macadam atau Batu Pecah :	
Indek Plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 6	80 – 100%
3. Lapis Pondasi Bawah :	
Indek plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 6	90 – 100%
Indek plastisitas (Plasticity Index = PI) > 6	70 – 90%

6.2. PERENCANAAN PERKUATAN PERKERASAN JALAN DENGAN OVERLAY MENURUT METODE AASHTO 1986.

Berdasarkan hasil survey kondisi kerusakan jalan menunjukkan bahwa kondisi permukaan perkerasan pada jalan Lakarsantri sangat jelek (banyak yang rusak). Sehingga kemampuan daya dukung perkerasan yang ada untuk mendukung beban arus lalu lintas saat ini menjadi berkurang. Disamping itu juga seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa tanah dasar (subgrade) jalan tersebut mempunyai sifat kembang-susut yang tinggi. Akibat dari kembang-susut yang tinggi ini menyebabkan perkerasan jalan menjadi semakin cepat rusak dan tidak mampu lagi mendukung beban lalu lintas yang ada.

Oleh karena itu harus dilakukan usaha perbaikan pada jalan Lakarsantri tersebut. Adapun perencanaan perkuatan jalan yang dilakukan adalah dengan pelapisan tambahan (overlay). Perkuatan jalan dengan lapis tambahan/overlay ini tidak hanya untuk memperbaiki kerusakan pada lapisan permukaan saja, tetapi juga diharapkan mampu meningkatkan kemampuan daya dukung perkerasan jalan.

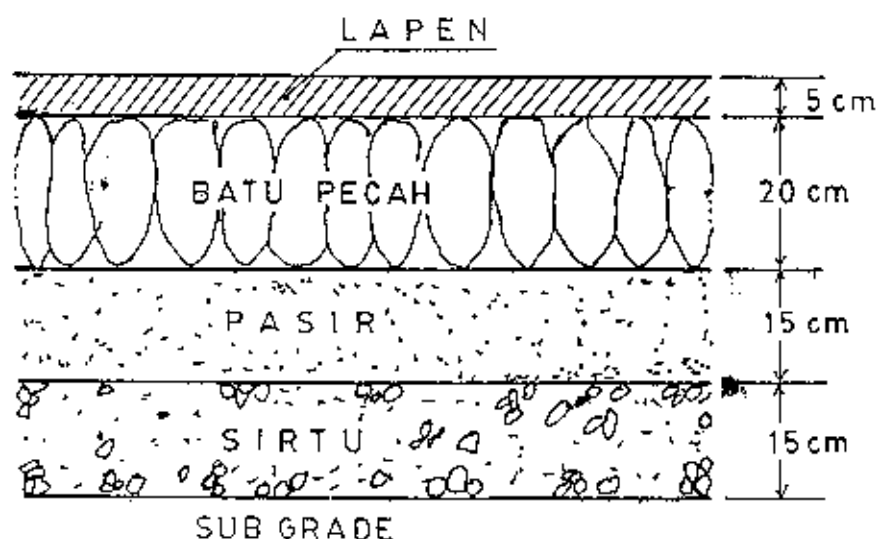
Perhitungan lapis tambahan yang umum dilakukan di Indonesia adalah berdasarkan hasil test lendutan atau Benkleman Beam Test. Namun karena belum adanya data lendutan pada ruas jalan Lakarsantri saat itu, maka untuk menghitung tebal lapis tambahan dianggap seperti merencanakan suatu

perkerasan baru. Tetapi lapis pondasi atas (base) dan lapis pondasi bawah (subbase) ditentukan sesuai kondisi yang ada di lapangan. Adapun perhitungan tebal perkerasan pada lapisan tambahan ini digunakan metode AASHTO 1986.

Berdasarkan data yang diperoleh bahwa susunan tebal perkerasan jalan Lakarsantri yaitu :

- Lapisan permukaan (surface) : Lapisan penetrasi
- Lapis pondasi atas (base) : Batu putih (CBR 80 %)
- Lapis pondasi bawah (subbase) : Pasir dan sirtu (CBR 40 %).

Gambar susunan tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Susunan tebal perkerasan yang ada

Sedangkan data lalu lintas hasil survey, tahun 1988 didapatkan LHR sebagai berikut :

- Kendaraan ringan 2 ton (1.1) = 2400 kendaraan/hari/2 arah
- Truk kecil 8,3 ton (1.2 L) = 150 kendaraan/hari/2 arah
- Truk besar 23 ton (1.2 H) = 50 kendaraan/hari/2 arah
- Total = 2600 kendaraan/hari/2 arah

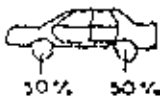
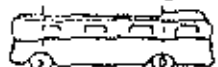
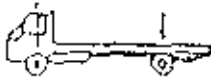
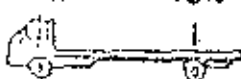
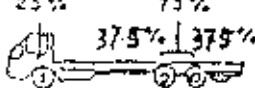

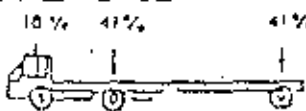
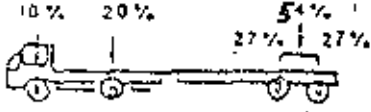
Berdasarkan hasil survey pada tahun 1993 yang merupakan awal umur rencana didapatkan LHR sebagai berikut :

- Kendaraan ringan 2 ton (1.1) = 3750 kendaraan/hari/2 arah
- Truk kecil 8,3 ton (1.2 L) = 340 kendaraan/hari/2 arah
- Truk besar 23 ton (1.2 H) = 65 kendaraan/hari/2 arah
- Bus 8 ton = 13 kendaraan/hari/2 arah
- Total = 4168 kendaraan/hari/2 arah

Faktor pertumbuhan lalu lintas selama periode 1988-1993 didapatkan $i = 10 \%$.

6.2.1. Perhitungan Angka Ekuivalensi Beban Gandar.

Angka ekuivalensi beban gandar/sumbu (E) masing-masing jenis kendaraan menggunakan asumsi distribusi beban gandar sesuai dengan Bina Marga (1981) seperti pada Gambar 6.2.

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	
1.1 MP	1,5	0,5	2,0	
1.2 BUS	3	6	9	 <div data-bbox="917 829 1164 929"> <p>⑤ RODA TUNGGAL PADA UJUNG BANGUN ① RODA BANGUN PADA UJUNG SUMBU</p> </div>
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	
1.2H TRUCK	4,2	14	18,2	
1.22 TRUCK	5	20	25	
1.2 + 2.2 TRAILER	6,4	25	31,4	
1.2 - 2 TRAILER	6,2	20	26,2	
1.2 - 22 TRAILER	10	32	42	

Gambar 6.2. Ekuivalen Beban Gandar Standar
 Pada Metode Bina Marga (1981)

Hal ini mengingat hasil data bentuk jenis kendaraan yang ada tidak sama dengan data yang digunakan AASHTO.

Jika ditentukan SN = 2 dan pt = 2, maka dengan menggunakan Tabel 6.3, didapatkan harga E sebagai berikut :

- Kendaraan ringan 2 ton (1.1) :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{As depan (1,0 ton)} & = & 0,00048 \\
 \text{As belakang (1,0 ton)} & = & 0,00048 \\
 \hline
 & & 0,00096
 \end{array}$$

- Truk kecil 8,3 ton (1.2 L) :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{As depan (2,82 ton)} & = & 0,01430 \\
 \text{As belakang (5,48 ton)} & = & 0,18505 \\
 \hline
 & & 0,19935
 \end{array}$$

- Truk besar 23 ton (1.2 H) :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{As depan (7,82 ton)} & = & 0,8455 \\
 \text{As belakang (15,18 ton)} & = & 16,668 \\
 \hline
 & & 17,5135
 \end{array}$$

- Bus 8 ton (1.2) :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{As depan (3,06 ton)} & = & 0,02005 \\
 \text{As belakang (5,94 ton)} & = & 0,26555 \\
 \hline
 & & 0,28560
 \end{array}$$

Tabel 6.5. Faktor Ekuivalen Beban Gandar Perkerasan
Lentur, Gandar Tunggal, pt 2,0 (AASHTO, 1986)

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.080	.085	.079	.076
12	.165	.177	.180	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.560	.598	.610	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	88.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97.	86.	81.	82.

Sehingga dari angka ekivalensi beban gandar tersebut dapat dihitung :

- Total kumulatif pembebanan lalu lintas 2 arah (ESAL's 18-kips) untuk LHR sampai pada akhir periode analisa (1989-1993 dan 1993-1998) dengan rumus :

$$\bar{W}_{18} = 365 \times \text{LHR} \times E_i \times (1+i_1)^{N_1} \times \frac{(1+i_2)^{N_2} - 1}{i_2}$$

dimana $i_1 = i_2 = 10\%$ dan $N_1 = N_2 = 5$ tahun,
sehingga dapat dihitung :

- \bar{W}_{18} kendaraan ringan :

$$= 365 \times 3750 \times 0,00096 \times 9,8323 = 12919,64$$

- \bar{W}_{18} bus :

$$= 365 \times 13 \times 0,28560 \times 9,8323 = 13324,46$$

- \bar{W}_{18} truk kecil :

$$= 365 \times 340 \times 0,19935 \times 9,8323 = 243244,56$$

- \bar{W}_{18} truk besar :

$$= 365 \times 65 \times 17,5135 \times 9,8323 = 4085397,22$$

$$\text{Total } \bar{W}_{18} = 4354885,88$$

Karena data yang dihitung adalah untuk kendaraan/hari/2 arah maka faktor distribusi arah (D_D) adalah 0,5. Sedangkan untuk jalan 1 lajur pada masing-masing arah maka faktor distribusi lajur (D_L) adalah 100 % atau 1.

Sehingga perkiraan penggunaan jumlah ekuivalen beban gandar tunggal (W_{18}) adalah :

$$\begin{aligned} W_{18} &= D_D \times D_L \times \bar{W}_{18} \\ &= 0,5 \times 1 \times 4354885,88 \\ &= 2177442,94 \quad \text{ESAL's} \end{aligned}$$

Jadi lalu lintas pada jalan Lakarsantri sampai pada akhir periode yang direncanakan (analisa) termasuk dalam lalu lintas tinggi, karena batasan untuk lalu lintas tinggi adalah ESAL's $\geq 1.000.000$. Sehingga persamaan yang digunakan untuk menentukan tebal perkerasan adalah :

$$SN = a_1.D_1 + a_2.m_2.D_2 + a_3.m_3.D_3$$

6.2.2. Penentuan Indeks Tebal Perkerasan atau Structural Number (SN).

Faktor-faktor yang diperlukan dalam mencari harga SN adalah sebagai berikut :

- Tingkat Reliabilitas (R) sesuai dengan Tabel 2.4, untuk jalan lokal (urban) adalah 80 %. dimana selama umur rencana mengalami 1 kali overlay, maka reliabilitas untuk masing-masing tahap adalah $(0,80)^{1/2} = 90 \%$.
- Simpangan baku (So) sesuai dengan ketentuan AASHTO ditetapkan = 0,35.
- Nilai modulus material lapisan perkerasan yang direncanakan adalah :
 - Modulus elastisitas aspal beton (E_{ac}) = 400.000 psi
 - Modulus Resilient (M_R) subgrade :

$$M_R \text{ subgrade} = 1500 \times 2 = 3000 \text{ psi}$$

- Modulus Resilient granular base (CBR 85 %)

$$M_R \text{ base} = 1500 \times 85 = 127500 \text{ psi}$$

- Modulus Resilient granular subbase (CBR 45 %)

$$M_R \text{ subbase} = 1500 \times 45 = 67500 \text{ psi}$$

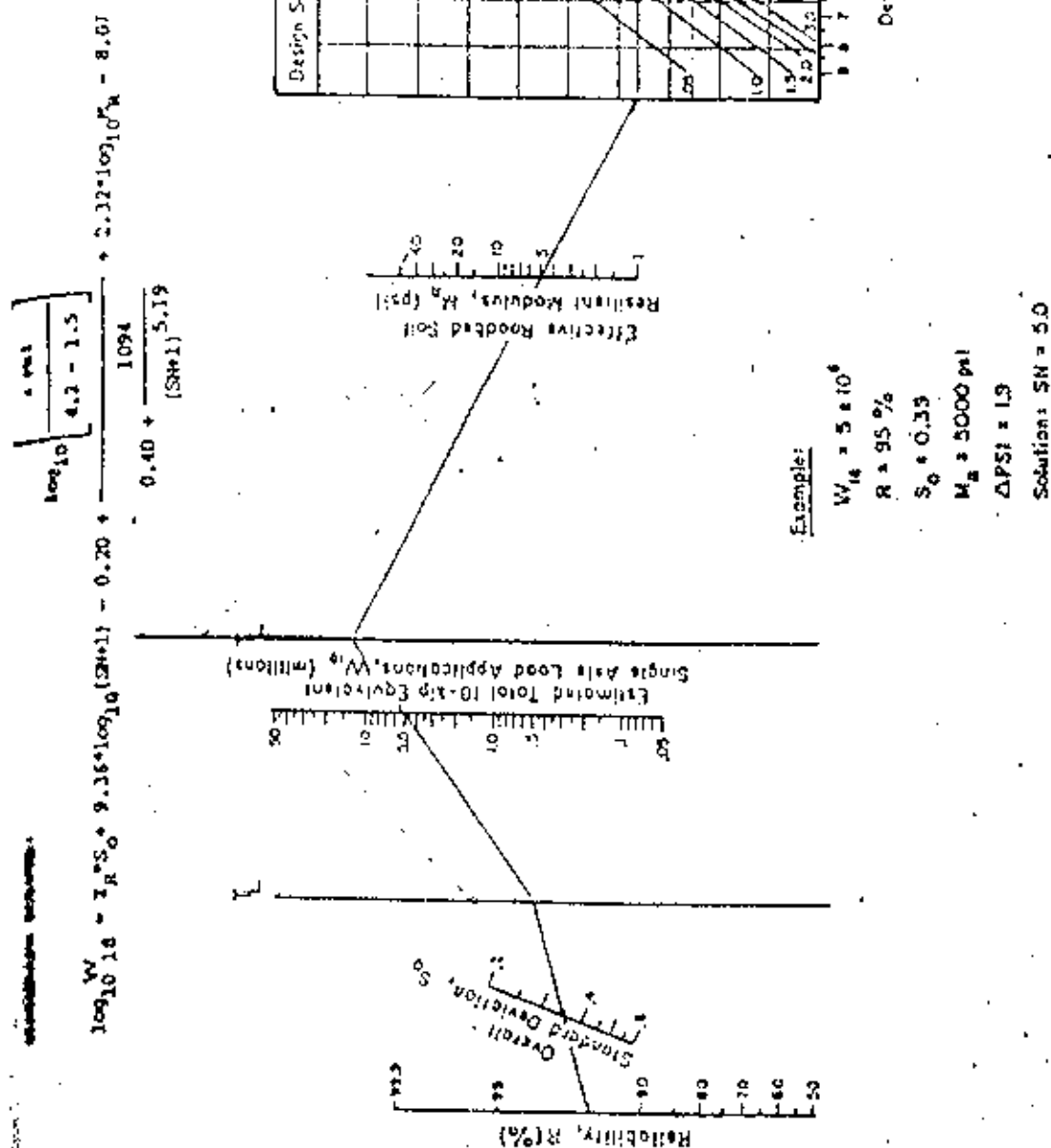
- Serviceability (Δ PSI) = $P_o - P_t - IP \text{ swell}$

Diasumsikan bahwa nilai $IP \text{ swell} = 0,2$, maka :

$$\Delta \text{ PSI} = 4,2 - 2 - 0,2 = 2$$

Cara mencari harga SN sebenarnya melalui tahap-tahap sebagai berikut :

- Ditetapkan dahulu harga SN, kemudian dengan Tabel 6.5 (disesuaikan dengan jenis perkerasan, jumlah gandar, dan P_t) dicari harga E yang sesuai dengan beban gandar.
- Kemudian dapat dihitung perkiraan jumlah ekuivalen beban gandar selama umur rencana (W_{18}).
- Dengan menggunakan Gambar 6.3 dapat dicari harga SN yang sebenarnya yaitu dengan memasukkan faktor-faktor yang telah ditentukan.
- Apabila harga SN sebenarnya yang didapat dengan Gambar 6.3 tidak sama atau tidak mendekati harga SN asumsi, maka harus dilakukan perhitungan mulai dari awal lagi dengan mengasumsikan SN yang baru.
- Melalui tahapan yang berulang-ulang sampai akhirnya didapatkan harga SN asumsi sama atau mendekati harga SN sebenarnya.



Gambar Diagram perencanaan SN.

(AASHTO, 1986)



MILIK PERPUSTAKAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI
 SEPULUH NOPEMBER

Dengan demikian dari tahapan-tahapan cara diatas diperoleh hasil sebagai berikut :

- Untuk subgrade ditetapkan $P_t = 2,0$, $SN = 6$ dan diperoleh : $W_{18} = 2177442,94$ ESAL's ; $M_R = 3000$ psi, maka didapatkan $SN_a = SN_{subgrade} = 5,8$. Jadi nilai SN sebenarnya dipakai $SN_{subgrade} = 6$, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$6 = a_1.D_1 + a_2.m_2.D_2 + a_3.m_3.D_3$$

Sedangkan untuk mencari harga SN untuk base dan subbase ternyata tidak dapat dilakukan seperti cara sebelumnya diatas. Hal ini karena dengan harga W_{18} dan M_R yang direncanakan tidak dapat diplotkan pada grafik Gambar 6.3, sehingga harga SN yang dicari tidak dapat diketahui. Oleh karena itu harga SN harus dicari dengan memakai rumus dasar (Persamaan 2.10). Caranya adalah dengan mencari nilai W_{18} dengan nilai yang ada pada Tabel 6.5. Kemudian harga W_{18} yang diperoleh dijadikan $\log W_{18}$ sebagai pendekatan untuk mencari SN sebenarnya (ditunjukkan pada Tabel 6.6). Dengan trial and error nilai $\log W_{18}$ dimasukkan dalam Persamaan 2.10 sehingga diperoleh nilai SN sebenarnya yang sesuai.

Jadi dari hasil trial and error didapatkan :

- Tebal perkerasan diatas subbase :

$$CBR_{subbase} = 45 \% (M_R = 67500 \text{ psi}), \log W_{18} = 6,30$$

Tabel 6.6. Harga log W_{18} untuk mencari SN

SN		1	2	3
Ei	PK	0,00076	0,00096	0,00076
	Bus	0,26866	0,28560	0,29474
	1.2 L	0,18200	0,19935	0,19992
	1.2 H	18,08585	17,51350	16,06252
\bar{W}_{18}	PK	10228,05	12919,64	10228,05
	Bus	12534,13	13324,46	13750,88
	1.2 L	222074,29	243244,56	243940,07
	1.2 H	4218910,06	4085397,22	3746925,20
Total		4463746,53	4354885,88	4014844,20
W_{18}		2231873,265	2177442,94	2007422,10
Log W_{18}		6,35	6,34	6,30

SN		4	5	6
Ei	PK	0,00076	0,00076	0,00076
	Bus	0,29220	0,28020	0,27292
	1.2 L	0,20145	0,19124	0,18500
	1.2 H	14,87373	14,82516	15,46756
\bar{W}_{18}	PK	10228,05	10228,05	10228,05
	Bus	13632,38	13072,53	12732,88
	1.2 L	245806,96	233348,84	221464,20
	1.2 H	3469614,59	3458284,61	3608138,10
Total		3739281,98	3714934,03	3852563,23
W_{18}		1869640,99	1857467,015	1926281,615
Log W_{18}		6,27	6,27	6,29

diperoleh $SN_{subbase} = SN_z = 1,57$, maka :

$$1,57 = a_1.D_1 + a_2.m_2.D_2$$

- Tebal perkerasan diatas base :

CBR base = 85 % ($M_R = 127500$ psi), $\log W_{18} = 6,30$

diperoleh $SN_{base} = SN_1 = 1,19$, maka :

$$1,19 = a_1.D_1$$

6.2.3. Menetapkan Tebal Lapisan Tambahan (Overlay).

Untuk menentukan tebal lapisan tambahan (overlay) digunakan asumsi seperti dalam perencanaan tebal perkerasan pada jalan baru. Dengan menggunakan harga CBR yang direncanakan yaitu CBR subgrade 2 % , CBR subbase = 45 % , CBR base 85 % , maka dapat diketahui tebal lapis tambahan yang diperlukan.

Berdasarkan hasil survey kondisi permukaan jalan dapat diketahui nilai kondisi perkerasan jalan Lakarsantri saat ini adalah :

- Untuk lapis permukaan (surface) nilainya 50 %
- Untuk lapis pondasi atas (base) dengan pondasi macadam atau batu pecah nilainya 80 %
- Untuk lapis pondasi bawah nilainya 90 %

Sedangkan dari karakteristik material yang digunakan maka dapat diperoleh koefisien lapisan (a), yaitu :

- Lapis penetrasi (lapen) : $a_1 = 0,25$
- Granular base : $a_2 = 0,13$
- Granular subbase : $a_3 = 0,11$

Harga koefisien drainage (m) untuk jalan Lakarsantri diambil sebesar 0,8 (Tabel 2.7).

Dengan demikian dapat dicari indeks tebal perkerasan atau SN dari perkerasan jalan yang ada dengan perumusan sebagai berikut :

$$SN_{ada} = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$$

Berdasarkan asumsi harga CBR yang direncanakan maka :

- Tebal lapis tambahan berdasarkan CBR subgrade = 2 %

Dari perkerasan yang ada dapat dicari :

$$\begin{aligned}
 SN_{ada} &= a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3 \\
 &= 50 \% (0,25 \times 5) + 80 \% (0,13 \times 20 \times 0,8) \\
 &\quad + 90 \% (0,11 \times 30 \times 0,8) \\
 &= 4,665
 \end{aligned}$$

Diketahui SN subgrade = $SN_s = 6$, maka :

$$\begin{aligned}
 SN_{sisa} &= SN - SN_{ada} \\
 &= 6 - 4,665 \\
 &= 1,335
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SN_{sisa} &= a_1(AC) \times D_1 \\
 1,335 &= 0,4 \times D_1 \\
 D_1 &= 3,340 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$= 8,50 \text{ cm} \quad (\text{tebal AC/Laston})$$

Ternyata diperlukan lapis tambahan setebal 8,50 cm.

- Tebal lapis tambahan berdasarkan CBR subbase = 45 %

Dari perkerasan yang ada dapat dicari :

$$\begin{aligned} \text{SN}_{\text{ada}} &= a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 \\ &= 50 \% (0,25 \times 5) + 80 \% (0,13 \times 20 \times 0,8) \\ &= 2,289 \end{aligned}$$

Diketahui SN subbase = $\text{SN}_2 = 1,57$, maka :

$$\begin{aligned} \text{SN}_{\text{sis}} &= \text{SN} - \text{SN}_{\text{ada}} \\ &= 1,57 - 2,289 \\ &= -0,719 \quad (\text{negatif}) \end{aligned}$$

Ternyata tidak diperlukan lapis tambahan karena tebal perkerasan yang ada masih kuat.

- Tebal lapis tambahan berdasarkan CBR base = 85 %

Dari perkerasan yang ada dapat dicari :

$$\begin{aligned} \text{SN}_{\text{ada}} &= a_1.D_1 \\ &= 50 \% (0,25 \times 5) \\ &= 0,625 \end{aligned}$$

Diketahui SN base = $\text{SN}_1 = 1,19$, maka :

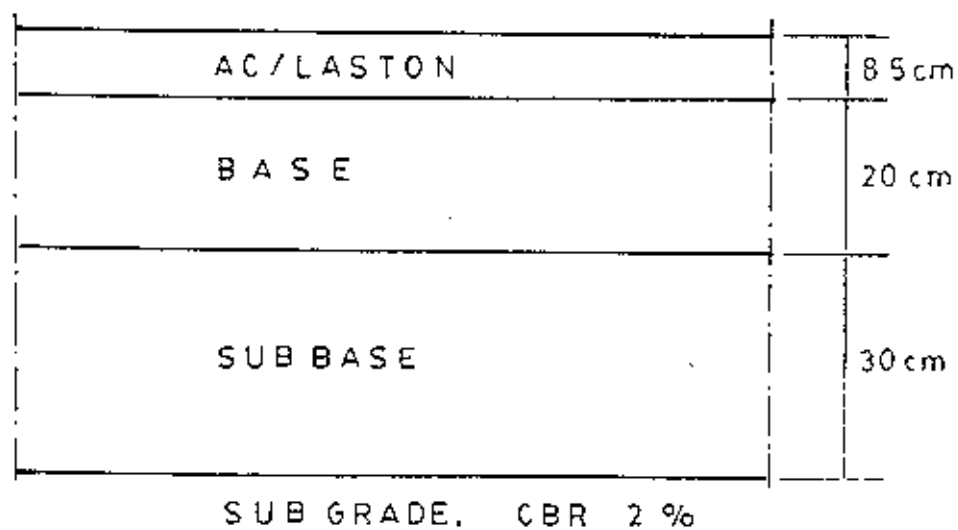
$$\begin{aligned} \text{SN}_{\text{sis}} &= \text{SN} - \text{SN}_{\text{ada}} \\ &= 1,19 - 0,625 \\ &= 0,565 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SN}_{\text{sis}} &= a_1(\text{AC}) \times D_1 \\ 0,565 &= 0,4 \times D_1 \\ D_1 &= 1,413 \text{ inch} \\ &= 3,60 \text{ cm} \quad (\text{tebal AC/Laston}) \end{aligned}$$

Ternyata diperlukan lapis tambahan setebal 3,60 cm.

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui tebal lapis tambahan/overlay yang paling kritis. Ternyata berdasarkan asumsi memakai CBR subgrade didapatkan tebal lapis yang paling besar (paling kritis) bila dibandingkan dengan memakai CBR subbase maupun CBR base. Sehingga atas dasar inilah maka perencanaan perkuatan jalan dengan lapis tambahan/overlay harus dilakukan.

Jadi tebal lapisan tambahan yang digunakan selama umur rencana 5 tahun pada perkerasan jalan Lakarsantri adalah 8,50 cm dengan bahan Aspal Beton (AC/Laston). Ketebalan lapisan tambahan tersebut sesuai dengan batasan yang ditentukan AASHTO yaitu ketebalan minimum untuk lapisan permukaan (surface) pada lalu lintas antara 500001-2000000 ESAL's adalah 3,0 inch atau 7,62 cm. Dengan demikian susunan tebal perkerasan jalan Lakarsantri setelah dilakukan overlay dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Susunan tebal perkerasan setelah overlay

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. KESIMPULAN

Dari hasil penyelidikan dan analisa data serta perencanaan perbaikan jalan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa hal penting sebagai kesimpulan seperti berikut:

1. Tanah dasar (subgrade) pada jalan Lakarsantri ternyata mempunyai sifat kembang-susut (swelling) yang besar. Berdasarkan hasil dari test swelling menunjukkan bahwa dalam keadaan dry side swelling tertinggi mencapai 18 %, sedang pada keadaan wet side swelling tertinggi mencapai 7,55 %, dan pada keadaan W_c optimum swelling tertinggi mencapai 13,15 %. Tanah dasar jalan Lakarsantri tergolong sebagai tanah yang mempunyai tingkat potensial swelling tinggi.
3. Pertambahan volume lalu lintas yang melewati jalan Lakarsantri berdasarkan hasil survey lalu lintas selama periode 1988-1993 menunjukkan adanya pertambahan volume lalu lintas, yaitu LHR pada tahun 1988 adalah 2600 kendaraan/hari/2 arah dan LHR pada tahun 1993 adalah 4168 kendaraan/hari/2 arah. Faktor pertumbuhan lalu lintas selama periode tersebut adalah 10 %. Sehingga lalu lintas pada jalan Lakarsantri tergolong lalu lintas tinggi.
4. Perencanaan perbaikan tanah dasar jalan Lakarsantri ada-

adalah sesuai dengan pendekatan pertama yaitu mencegah terjadinya perubahan kadar air tanah. Adapun cara yang digunakan berdasarkan skala prioritas pelaksanaan dari beberapa alternatif yang ada, yaitu :

- Menutup atau "covering" permukaan tanah sepanjang sisi kiri maupun kanan jalan dengan lapisan kedap air. Pada lapisan aspal sebagai lapisan kedap air maka lahan yang ditutup adalah selebar 5 meter. Sedangkan untuk Geomembran maka luas lahan yang akan dimanfaatkan sebagai lapisan kedap air adalah 3 meter.
- Mengganti tanah dasar dengan tanah yang "baik" yaitu tanah yang mempunyai swelling yang kecil atau bahkan tidak mempunyai sifat swelling seperti pasir. Tanah dasar yang diganti direncanakan sedalam 1 m (berdasarkan kedalaman kritis, $H_{cr} = 1,47 \text{ m}$).
- Membuat vertikal drain pada lahan tanah selebar 5 meter di kiri-kanan jalan. Jarak vertikal drain satu dengan yang lainnya baik untuk arah memanjang maupun untuk arah vertikal adalah 0,80 m. Kedalaman sand drain vertikal yang direncanakan adalah 3 meter. Disamping itu juga dibuat sand drain horisontal yang dihubungkan menerus dengan sand drain vertikal menuju drainase.
- Kombinasi dari cara-cara tersebut di atas. Tanah dasar

sepanjang kiri dan kanan jalan selebar 5 meter digali sedalam 1 meter (lebar penggalian 4 meter).

Kemudian diganti dengan tanah yang "baik" atau pasir, lalu ditutup dengan lapisan kedap air (lapisan aspal).

5. Perencanaan perkuatan perkerasan jalan yang dilakukan adalah merencanakan tebal lapisan tambahan (overlay).

Berdasarkan perhitungan dengan metoda AAHSTO yang digunakan, tebal lapisan tambahan/overlay adalah 8,5 cm. Bahan lapisan tambahan yang digunakan adalah Aspal Beton (AC/Laston).

6.2. SARAN

Dalam merencanakan pembuatan jalan sebaiknya perlu dilakukan penyelidikan terhadap tanah dasar setempat, terutama pada tanah yang paling "jelek". Karena selama ini di Indonesia sering dijumpai kasus kerusakan jalan yang disebabkan jeleknya tanah dasar. Hal ini karena penyelidikan terhadap kondisi tanah dasar yang lengkap dalam perencanaan pembuatan jalan sering dilupakan. Kasus kerusakan pada jalan Lakarsantri adalah salah satu contoh nyata akibat jeleknya tanah dasar yaitu adanya pengaruh swelling yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja N. 1985. Principles of Geotechnical Engineering. The University of Texas at El Paso, PWS Engineering Boston.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya, SK. No. 01/PD/B/1983, Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metoda Analisa Komponen, SKB1.2.3.26.1987. Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Grim, R.E. 1968. Clay Mineralogy, 2nd edition. Mc Graw Hill, New York.
- Holtz, R.D., and Kovacs, W.D. 1981. An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall Int. Inc, London.
- Komornik, A., and David, D. 1969. "Prediction of Swelling Pressure of Clay". ASCE Journal of the Soil Mechanic and Foundation Division, vol. 95, no.SM 1, January, pp. 209 - 226.
- Mitchell, J.K. 1986. "Practical Problem from Surprising Soil Soil Behavior". ASCE Journal of Geotechnical Engineering, vol. 112, no.3, March, pp. 255 - 289.
- Mochtar., Noor Endah. 1987. Petunjuk Cara Menentukan Sifat Fisik Tanah Di Laboratorium. Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Mochtar. 1992. Rekayasa Penanggulangan Masalah Pembangunan Pada Tanah-Tanah yang "Sulit". Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Sukirman, Silvia. 1992. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Nova, Bandung.

The American Association of State Highway and Transportation Officials. 1986. AASHTO Guide for Design of Pavement Structure 1986. Washington D.C. 20001.

TUGAS AKHIR

Lampiran A - 1


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEMPUTIH SUKOLILO TELP. 5964994 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : ATTERBERG LIMIT
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 CONTOH TANAH : TITIK 1

1. Menentukan Batas Cair. (LL).

Nomor Cawan.	18	17	14	21
Berat Cawan (W_1) (gram)	42,60	42,30	44,90	52,20
Berat cawan + tanah basah (gram)	67,3	63	70,5	75,3
Berat cawan + tanah kering (gram)	56,8	54	59,2	64,6
Kadar air %	73,94	76,92	79,02	86,29
Jumlah Pukulan (N)	34	28	23	16

2. Menentukan Batas Plastis. (PL).

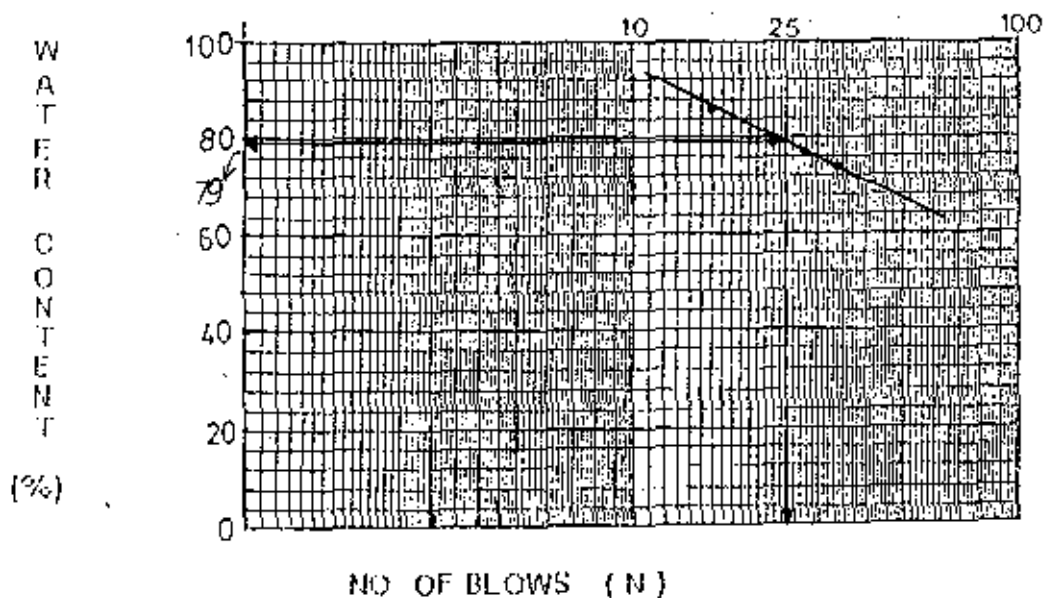
Nomor cawan	9	29
Berat cawan (W_1) (gram)	41	48,5
Berat cawan + tanah basah (gram) (W_2)	43,7	50,8
Berat cawan + tanah Kering (gram) (W_3)	43,1	50,3
Kadar air (PL) %	28,57	27,78
		PL rata ₂ = 28,18 %

TUGAS AKHIR

Lampiran A - 2

3. Menentukan Batas Susut. (SL).

Nomor cawan logam	3	4
Berat cawan logam (W_1) (gram)	17,2	16,6
Berat air raksa yg. vol.nya = vol.cawan (W_4) (gr)	243	239,8
Berat cawan + tanah basah (W_2) (gram)	41,8	41,2
Berat cawan + tanah kering (W_3) (gram)	30,5	29,8
Berat air raksa yg. vol.nya = vol. tanah kering (W_5)	115	111,9
Kadar air (SL)	14,19	15,11
$SL_{rata2} = 14,65 \%$		



$$LL = 79 \%$$

$$PL = 28,18 \%$$

$$PI = 50,82 \%$$

$$SL = 14,65 \%$$



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
KAMPUS ITS KEPUTIH SURABAYA TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
JENIS PERCOBAAN : ATTERBERG LIMIT
NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
CONTOH TANAH : TITIK 2

1. Menentukan Batas Cair. (LI).

Nomor Cawan.	21	24	3	7
Berat Cawan (W_1) (gram)	52,20	42,40	43,80	42,20
Berat cawan + tanah basah (gram)	86,50	70,10	72,80	79,9
Berat cawan + tanah Kering (gram)	73,3	59,1	61,1	64,2
Kadar air %	62,56	65,87	67,24	71,36
Jumlah Pukulan (N)	41	30	24	18

2. Menentukan Batas Plastis. (PL).

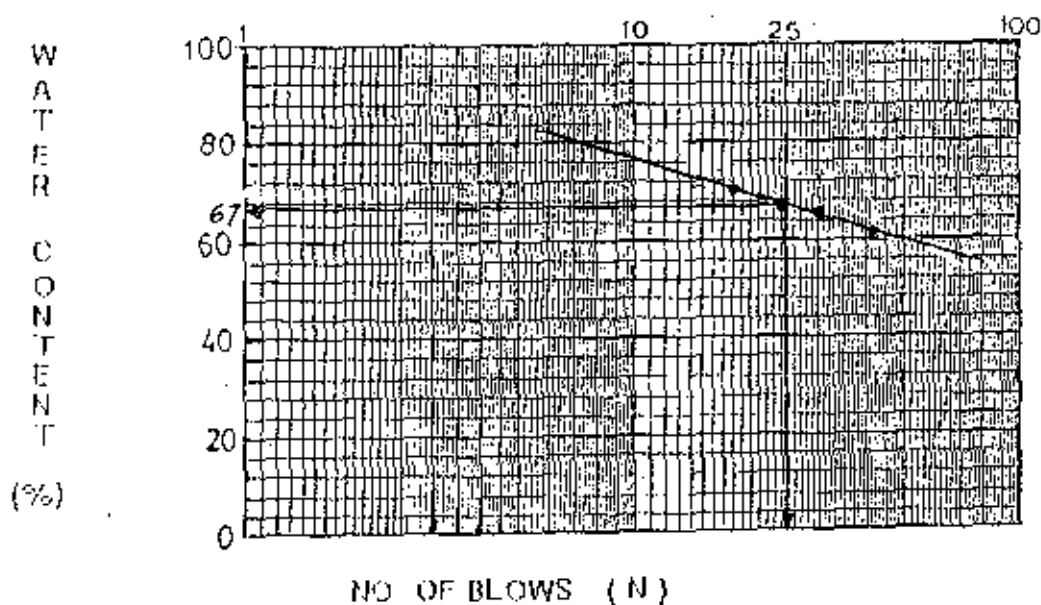
Nomor cawan	17	18
Berat cawan (W_1) (gram)	42,30	42,60
Berat cawan + tanah basah (gram) (W_2)	51,2	46,40
Berat cawan + tanah Kering (gram) (W_3)	49,5	45,70
Kadar air (PL) %	23,61	22,58
PL rata-rata = 23,10 %		

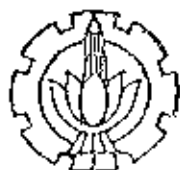
TUGAS AKHIR

Lampiran A - 4

3. Menentukan Batas Susut. (SL).

Nomor cawan logam	1	3
Berat cawan logam (W_1) (gram)	18,5	17,3
Berat air raksa yg. vol. nya = vol. cawan (W_4) (gr)	244,9	243,7
Berat cawan + tanah basah (W_2) (gram)	43,2	42,0
Berat cawan + tanah Kering (W_3) (gram)	32,5	31,1
Berat air raksa yg. vol. nya = vol. tanah kering (W_5)	121,8	117,3
Kadar air (SL) %	11,24	11,63
SL rata ² = 11,44 %		





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPITIH SUKULILO TELP. 506094 SURABAYA 60111

TANGGAL :
 JENIS PERCOBAAN : ATTERBERG LIMIT
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 CONTOH TANAH : LEMPUNG

1. Menentukan Batas Cair. (LI).

Nomor Cawan.	1	12	19	22
Berat Cawan (W_1) (gram)	42,6	50,3	48,10	51,8
Berat cawan + tanah basah (gram)	60	68,7	67,20	70,4
Berat cawan + tanah kering (gram)	52,5	61	59,3	62,8
Kadar air %	75,76	71,96	70,54	69,09
Jumlah Pukulan (N)	17	24	29	36

2. Menentukan Batas Plastis. (PL).

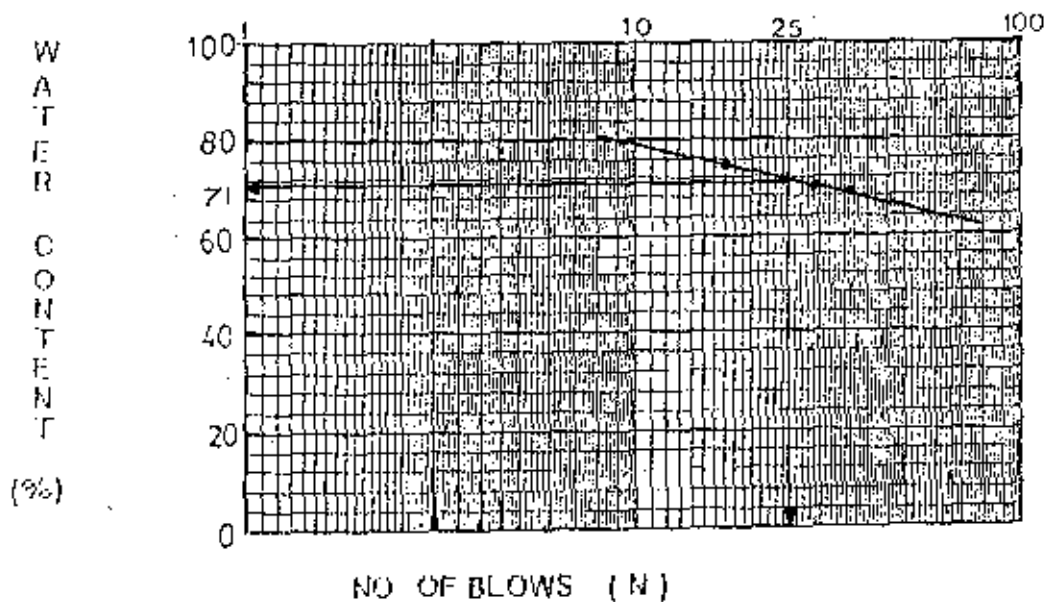
Nomor cawan	27	16
Berat cawan (W_1) (gram)	42,8	50,7
Berat cawan + tanah basah (gram) (W_2)	45,1	53,1
Berat cawan + tanah kering (gram) (W_3)	44,6	52,6
Kadar air (PL) %	27,78 %	26,32 %
PL rata-rata = 27,05 %		

TUGAS AKHIR

Lampiran A - 6

3. Menentukan Batas Susut. (SL).

Nomor cawan logam	2	4
Berat cawan logam (W_1) (gram)	18,2	16,7
Berat air raksa yg. vol.nya = vol.cawan (W_4) (gr)	243,7	240,6
Berat cawan + tanah basah (W_2) (gram)	42,6	41,6
Berat cawan + tanah Kering (W_3) (gram)	31,2	30,6
Berat air raksa yg. vol.nya = vol. tanah kering (W_5)	111,3	113,9
Kadar air (SL) %	12,80	14,27
SL rata2 = 13,54		



LL = 71 %

PL = 27.05 %

PI = 43.95 %

SL = 13.54 %



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUTIH SUCILOLO TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL :
 JENIS PERCOBAAN : ATTERBERG LIMIT
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 CONTOH TANAH : TITIK 4.

1. Menentukan Batas Cair. (LI).

Nomor Cawan.	2	13	21	14
Berat Cawan (W_1) (gram)	42,60	49,80	52,20	44,90
Berat cawan + tanah basah (gram)	56,8	66,2	70	69,3
Berat cawan + tanah Kering (gram)	50,2	58,8	62,2	55,4
Kadar air %	86,84	82,22	78	75,24
Jumlah Pukulan (N)	18	23	27	30

2. Menentukan Batas Plastis. (PL).

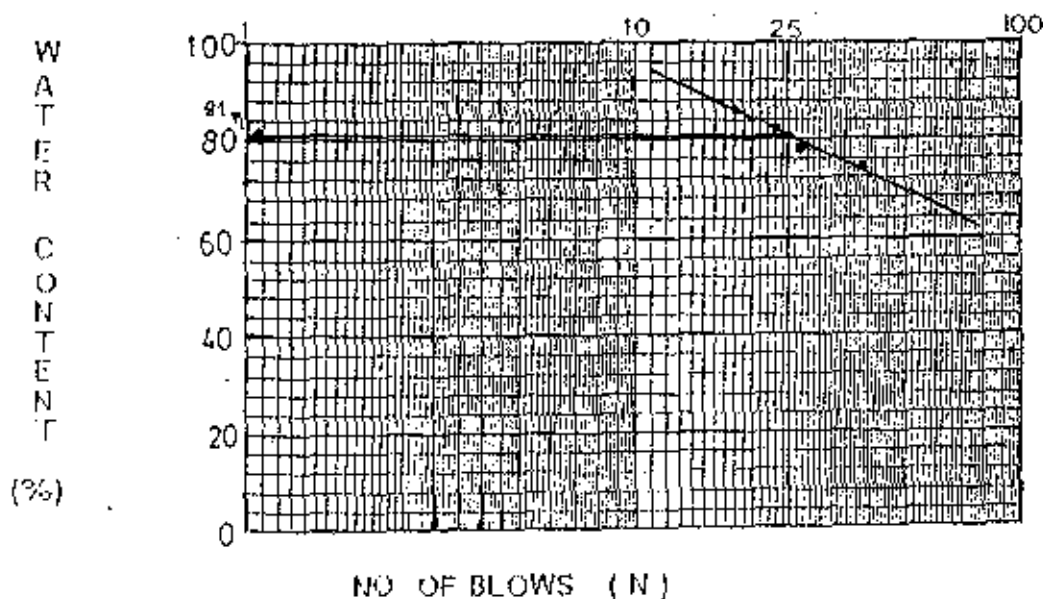
Nomor cawan	23	25
Berat cawan (W_1) (gram)	43,50	42,20
Berat cawan + tanah basah (gram) (W_2)	45,70	43,90
Berat cawan + tanah kering (gram) (W_3)	45,2	43,5
Kadar air (PL) %	29,41	30,77
		PL rata ₂ = 30,09 %

TUGAS AKHIR

Lampiran A - B

3. Menentukan Batas Susut. (SL).

Nomor cawan logam	1	4
Berat cawan logam (W_1) (gram)	18,5	18,8
Berat air raksa yg. vol.nya = vol.cawan (W_4) (gr)	242,8	239,8
Berat cawan + tanah basah (W_2) (gram)	49,2	41,5
Berat cawan + tanah kering (W_3) (gram)	32,1	30,2
Berat air raksa yg. vol.nya = vol. tanah kering (W_5)	122,9	116,4
Kadar air (SL) %	18,80	16,62
SL rata2 = 16,71 %		



$$LL = 81 \%$$

$$PL = 30,09 \%$$

$$PI = 50,91 \%$$

$$SL = 16,71 \%$$



LABORATORIUM MEKANIK TANAH

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS KETUTUH SURABAYA TELP. 556004 SURABAYA 60111

TANGGAL :
 JENIS PERCOBAAN : ATTERBERG LIMIT
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 CONTOH TANAH : TITIK 5

1. Menentukan Batas Cair. (LI).

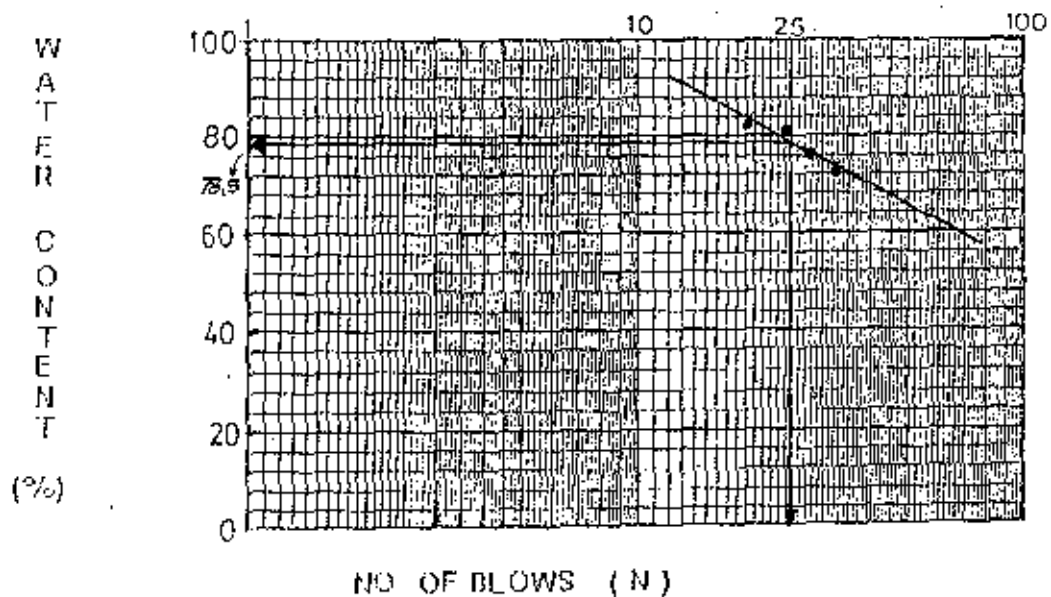
Nomor Cawan.	17	18	21	12
Berat Cawan (W_1) (gram)	42,30	42,60	52,20	50,50
Berat cawan + tanah basah (gram)	67,3	70,07	77	78,8
Berat cawan + tanah kering (gram)	56,8	58,2	65,9	66
kadar air %	72,41	76,09	81,02	82,58
Jumlah Pukulan (N)	32	28	24	19

2. Menentukan Batas Plastis. (PL).

Nomor cawan	18	8
Berat cawan (W_1) (gram)	50,8	40
Berat cawan + tanah basah (gram) (W_2)	53,85	42,9
Berat cawan + tanah kering (gram) (W_3)	53,2	42,2
kadar air (PL) %	27,08	51,82
PL rata ² = 29,45 %		

3. Menentukan Batas Susut. (SL).

Nomor cawan logam	2	3
Berat cawan logam (W_1) (gram)	18,2	17,9
Berat air raksa yg. vol. nya = vol. cawan (W_4) (gr)	249	243,4
Berat cawan + tanah basah (W_2) (gram)	43	42,4
Berat cawan + tanah kering (W_3) (gram)	31,6	31,2
Berat air raksa yg. vol. nya = vol. tanah kering (W_5)	110	118,7
Kadar air (SL)	11	14,82
$SL_{rata2} = 12,91 \%$		



$$LL = 78.5 \%$$

$$PL = 29.45 \%$$

$$PI = 49.05 \%$$

$$SL = 12.91 \%$$

ANALISA SARINGAN

Titik : 3 (1,5 m)
Deskripsi : Lempung
Warna : Coklat kehitam-hitaman

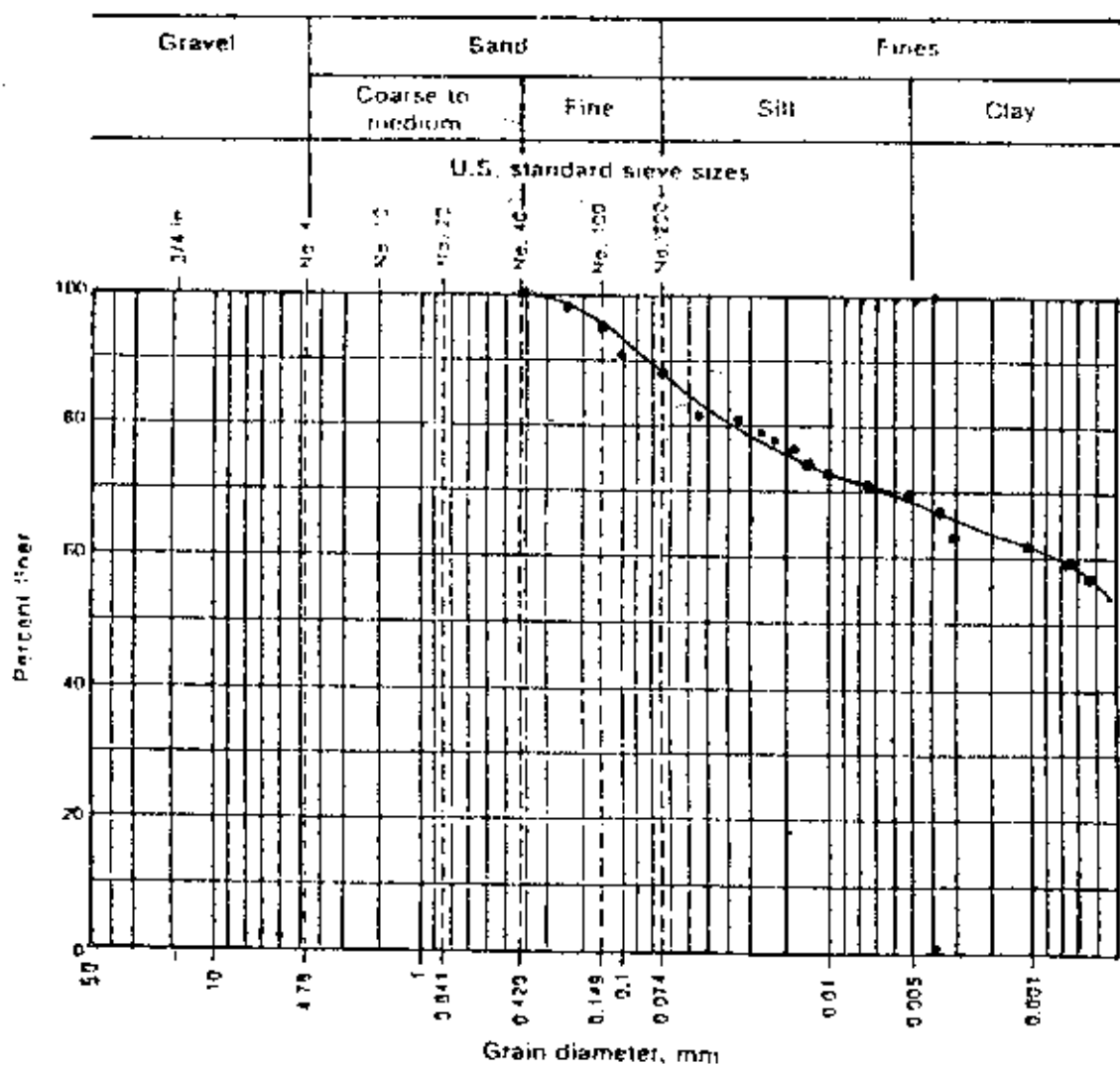
Saringan No.	Diameter (mm)	% lolos
40	0.425	100
60	0.25	97
100	0.15	95
140	0.106	91
200	0.075	88

HYDROMETER ANALYSIS

Description of soil _____

Sample No. _____ Location Titik 3Gs 2,68 Hydrometer type _____Dry weight of soil, W_s 30,90 (g) Temperature of test, T 28,5 ($^{\circ}\text{C}$)meniscus correction, F_m 1 Zero correction, F_z 3Temperature correction, F_T 2,275

Time (min)	Hydrometer reading, R	R_{co}	Percent finer, $\frac{2R_{cp}}{50} \times 100$	R_{cl}	L (cm)	A	D (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,50	41	40,275	80,55	42	9,4	0,01254	0,0544
1	41	40,275	80,55	42	9,4	—	0,384
2	40,5	39,775	79,55	41,5	9,65		0,272
3	40	39,275	78,55	41	9,75		0,0226
4	39,5	38,775	77,55	40,5	9,80		0,0196
8	38,5	37,775	75,55	39,5	10		0,014
16	37	36,275	72,55	38	10,25		0,010
30	36,25	35,525	71,05	37,25	10,30		0,0073
60	35,5	34,775	69,55	36,5	10,50		0,0052
120	34,75	34,025	68,05	35,75	10,55		0,0037
180	32,5	31,775	63,55	33,5	10,80		0,00307
1440	31,75	31,025	62,05	32,75	10,92	—	0,00109
2880	30,5	29,775	59,55	31,5	11,15		0,00078
4320	29,5	28,775	57,55	30,5	11,35		0,00064



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$$

$$C_c = \frac{D_{50}^2}{D_{10} D_{60}} =$$

Classification
USCS

Description of Soil

- Gravel = 100 %
- Sand = 12 %
- Silt - Clay = 88 %



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : TEST GRAVIMETRI
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 TANAH TITIK : 3

SPECIFIC GRAVITY

No. Piknometer	P ₁	P ₄	
Berat piknometer Kosong	117,1	130,6	
Brt. piknomter + tanah kering	167,7	181,9	
Brt. piknometer + tanah + air	397,1	410,5	
Temperatur. / Koreksi	28	28	
Berat piknometer + air	305,7	379	
Temperatur / Koreksi (T ₁)	28	28	
Specific Gravity (Gs) pada T ₁	2,635	2,591	
Specific Gravity (Gs) pada T ₀ =20°C	2,630	2,586	
Gs rata-rata = 2,608			

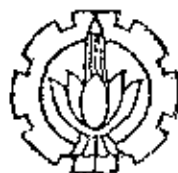


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : TEST GRAVIMETRI
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 TANAH TITIK : 5

SPECIFIC GRAVITY

No. Piknometer	P ₁	P ₂	
Berat piknometer kosong	130,6	118,9	
Brt. piknomter + tanah kering	179,8	169,2	
Brt. piknometer + tanah + air	409,4	398,8	
Temperatur. / Koreksi	28	28	
Berat piknometer + air	378,8	367,8	
Temperatur / koreksi (T ₁)	28	28	
Specific Gravity (Gs) pada T ₁	2,645	2,606	
Specific Gravity (Gs) pada T ₀ = 20°C	2,586	2,635	
G _{s rata-rata} = 2,620			



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO TELP. 596094 SURABAYA 6011

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : TEST GRAVIMETRI
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 TANAH TITIK : 4

SPECIFIC GRAVITY

No. Piknometer	P_4	P_1	
Berat piknometer kosong	130,8	117,4	
Brt. piknometer + tanah kering	180,4	160,1	
Brt. piknometer + tanah + air	410,7	397,6	
Temperatur. / Koreksi	28	28	
Berat piknometer + air	379,6	366,3	
Temperatur / koreksi (T_1)	28	28	
Specific Gravity (Gs) pada T_1	2,68	2,61	
Specific Gravity (Gs) pada $T_0=20^\circ\text{C}$	2,675	2,608	
$G_s \text{ rata-rata} = 2,642$			



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLO TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : TEST PEMADATAN
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 TANAH TITIK : 3

MODIFIED PROCTOR TEST

No.	1	2	3	4	5	6
No. Cawan	32	1	14	31		
Berat Cawan (gram)	42,44	42,60	44,90	50,40		
Berat Cawan + tanah (gram)	102,6	103,70	108,20	99,55		
Berat cawan + tanah kering	94,8	93,90	95,70	87,20		
Kadar air %	14,90	19,10	24,61	31,64		
Berat cetakan + tanah (gram)	5952	6049	6078	6007		
Berat cetakan (gram)	4260	4260	4260	4260		
Berat tanah (gram)	1692	1789	1818	1747		
Berat volume kering (γ_d) gr/cm ³	1,560	1,591	1,546	1,406		



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUTUH SURABAYA TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : TEST PEMADATAN
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 TANAH TITIK : 4

MODIFIED PROCTOR TEST

No.	1	2	3	4	5	6
No. Gawai	7	16	20	22	27	
Berat Cawan (gram)	42,20	50,90	40	52	43,20	
Berat Cawan + tanah (gram)	66,8	67	64	67	65,4	
Berat cawan + tanah Kering	63,9	64,6	60	64	59,9	
Kadar air %	13,36	17,52	20,04	25	32,93	
Berat cetakan + tanah (gram)	5973	6083	6131	6028	5976	
Berat cetakan (gram)	4260	4270	4260	4270	4260	
Berat tanah (gram)	1713	1813	1871	1758	1716	
Berat volume kering (γ_d) gr/cm ³	1,600	1,635	1,651	1,490	1,360	



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 KAMPUS ITS KEPUJUH SUKOLILA TELP. 596094 SURABAYA 60111

TANGGAL : _____
 JENIS PERCOBAAN : TEST PEMADATAN
 NRP/ NAMA : BOEDI W (3873100564)
 TANAH TITIK : 5

MODIFIED PROCTOR TEST

No.	1	2	3	4	5	6
No. Cawan	25	23	17	6	13	
Berat Cawan (gram)	42,20	43,80	42,30	50,80	42,30	
Berat Cawan + tanah (gram)	67	69,6	64,7	63,9	65,5	
Berat cawan + tanah kering	64	65,8	60,3	61,4	60,8	
Kadar air %	13,76	17,27	20	23,98	25,41	
Berat cetakan + tanah (gram)	5935	6050	6085	6050	6002,6	
Berat cetakan (gram)	4260	4270	4260	4260	4260	
Berat tanah (gram)	1675	1780	1835	1790	1760,6	
Berat volume kering (γ_d) gr/cm ³	1,551	1,608	1,620	1,526	1,487	

Perhitungan CBR Metode 15 Titik
(Fifteen Point Method)

Nilai CBR	Jumlah yg. sama atau lebih besar	Persen (%) yg. sama atau lebih besar
1,60	15	$15/15 \times 100 \% = 100 \%$
1,73	14	$14/15 \times 100 \% = 93,3 \%$
1,90	13	$13/15 \times 100 \% = 86,7 \%$
2,07	12	$12/15 \times 100 \% = 80,0 \%$
2,07	-	-
2,24	10	$10/15 \times 100 \% = 66,7 \%$
2,53	9	$9/15 \times 100 \% = 60,0 \%$
2,83	8	$8/15 \times 100 \% = 53,5 \%$
2,83	-	-
3,23	6	$6/15 \times 100 \% = 40,0 \%$
4,00	5	$5/15 \times 100 \% = 33,3 \%$
4,60	4	$4/15 \times 100 \% = 26,7 \%$
5,10	3	$3/15 \times 100 \% = 20,0 \%$
5,67	2	$2/15 \times 100 \% = 13,3 \%$
6,38	1	$1/15 \times 100 \% = 6,7 \%$



CBR TEST

PROJECT	: TUGAS AKHIR	Max. dry density	: 87/cc
LOCATION	: LAKARSANTRI	Opt. Moisture Content	: 18 %
POINT No.	:		
DATE	:		
Description of soil	: TANAH LEMPUNG		

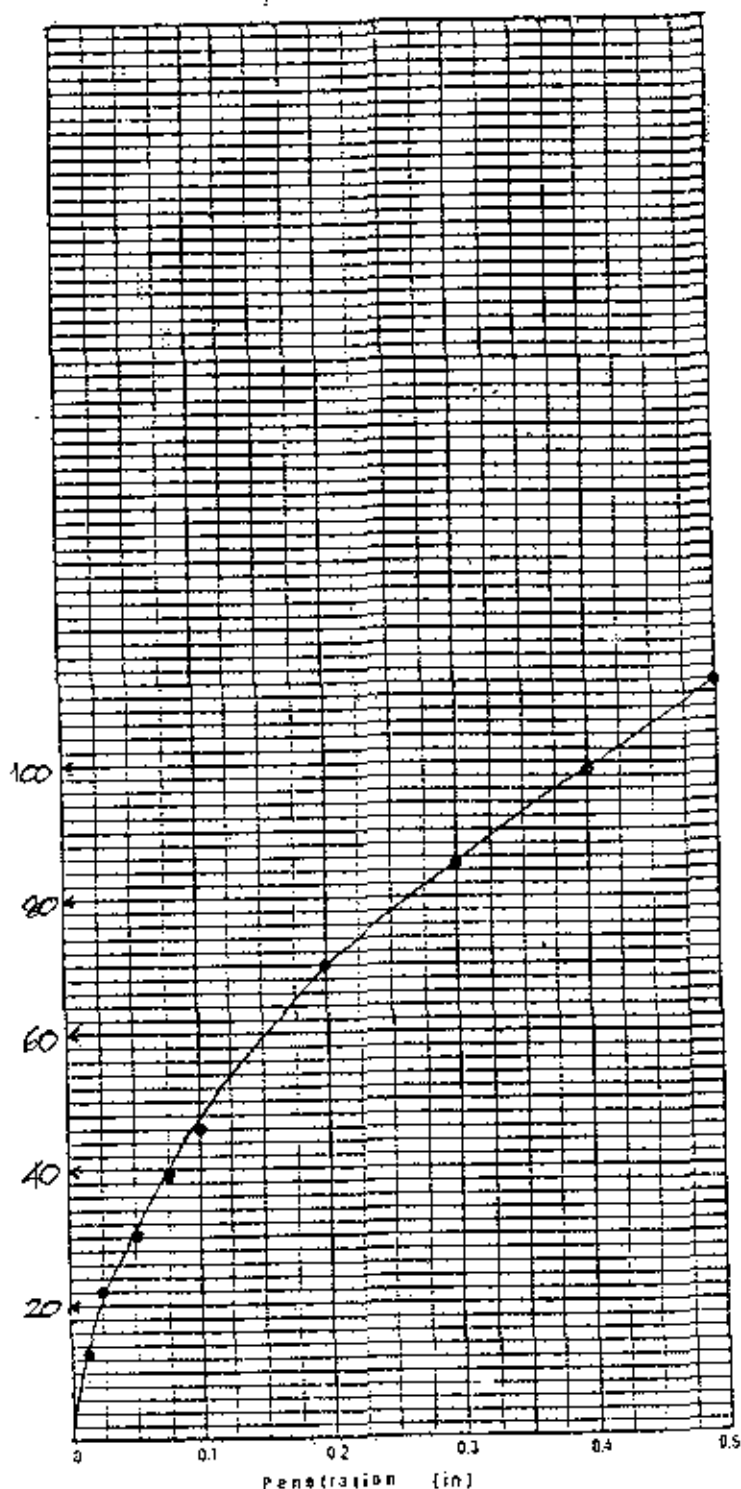
Wt. of soil + mold (gr)	12377
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked / Unsoaked	
Swelling %	

(13)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	6	13.2		
0.025	10	22		
0.050	14	30.8		
0.075	18	39.6		
0.100	21	46.2		
0.150	27	59.4		
0.200	32	70.4		
0.300	39	85.8		
0.400	45	99		
0.500	51	112.2		

Soaked / Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{48}{3000} \times 100 = 1.60$	%
	0.2"	$\frac{70}{4500} \times 100 = 1.56$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





C B R TEST

PROJECT	: TUGAS AKHIR	Max. dry density	: 9%cc
LOCATION	: LAKARSANTRI	Det. Moisture Content	: 18 %
POINT No.	:		
DATE	:		
Description of soil	: TANAH LEMPUNG		

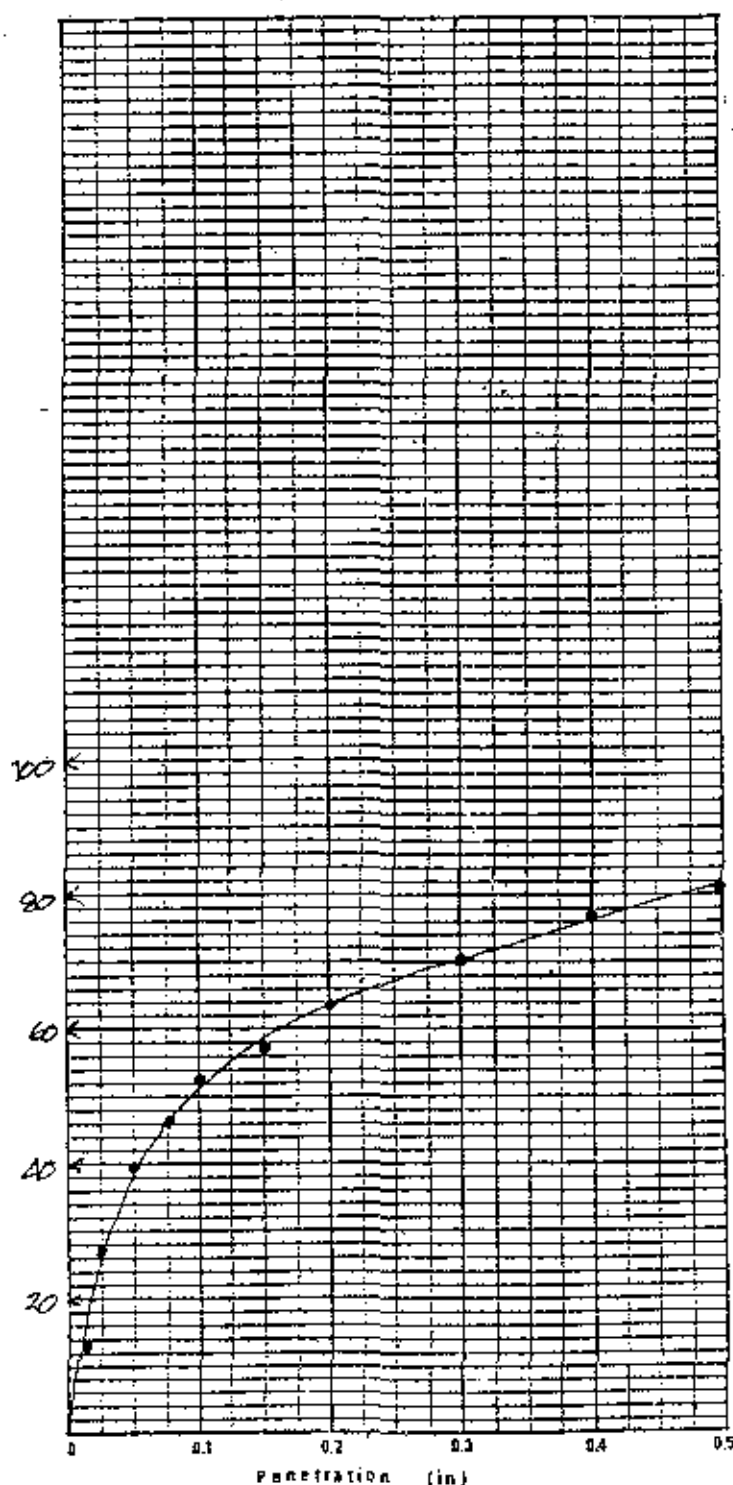
Wt. of soil + mold (gr)	12382
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked / Unsoaked	
Swelling %	

(lb)

Penetration on (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	6	13.2		
0.025	12	26.4		
0.050	18	39.6		
0.075	21	46.2		
0.100	24	52.8		
0.150	26	57.2		
0.200	29	63.8		
0.300	32	70.4		
0.400	35	77		
0.500	37	81.4		

Soaked / Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{52}{3000} \times 100 = 1.73$	%
	0.2"	$\frac{64}{4500} \times 100 = 1.42$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	TOGAS AKHIR		
LOCATION	LAKARSANTRI	Max. dry density	91/cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

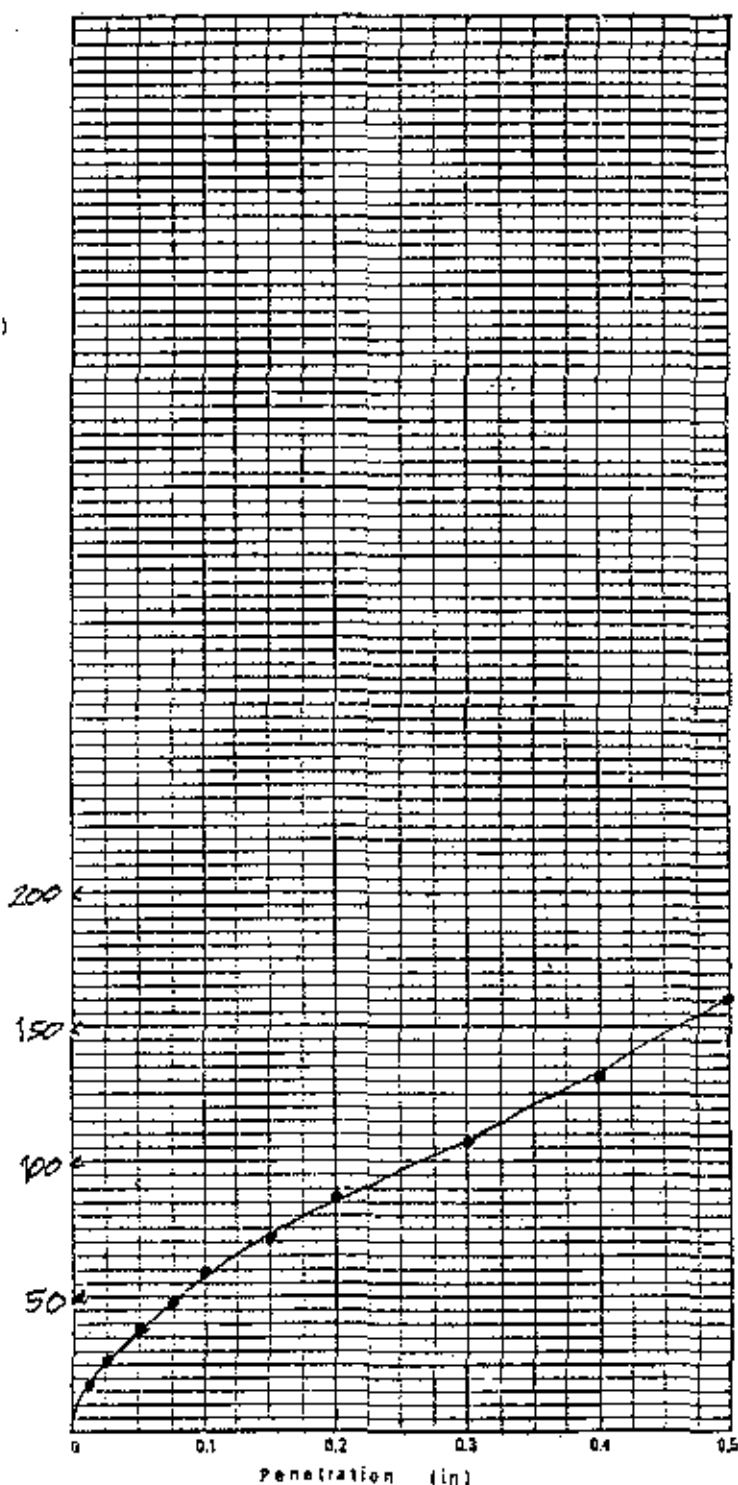
Wt. of soil + mold (gr)	12373
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(lb)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	8	17.6		
0.025	12	26.4		
0.050	17	31.4		
0.075	22	48.4		
0.100	27	53.4		
0.150	32	70.4		
0.200	39	85.8		
0.300	49	107.8		
0.400	60	132		
0.500	73	160.6		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{55}{3000} \times 100 = 1.90$	%
	0.2"	$\frac{80}{4500} \times 100 = 1.78$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKASANTRI	Max. dry density	91/cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

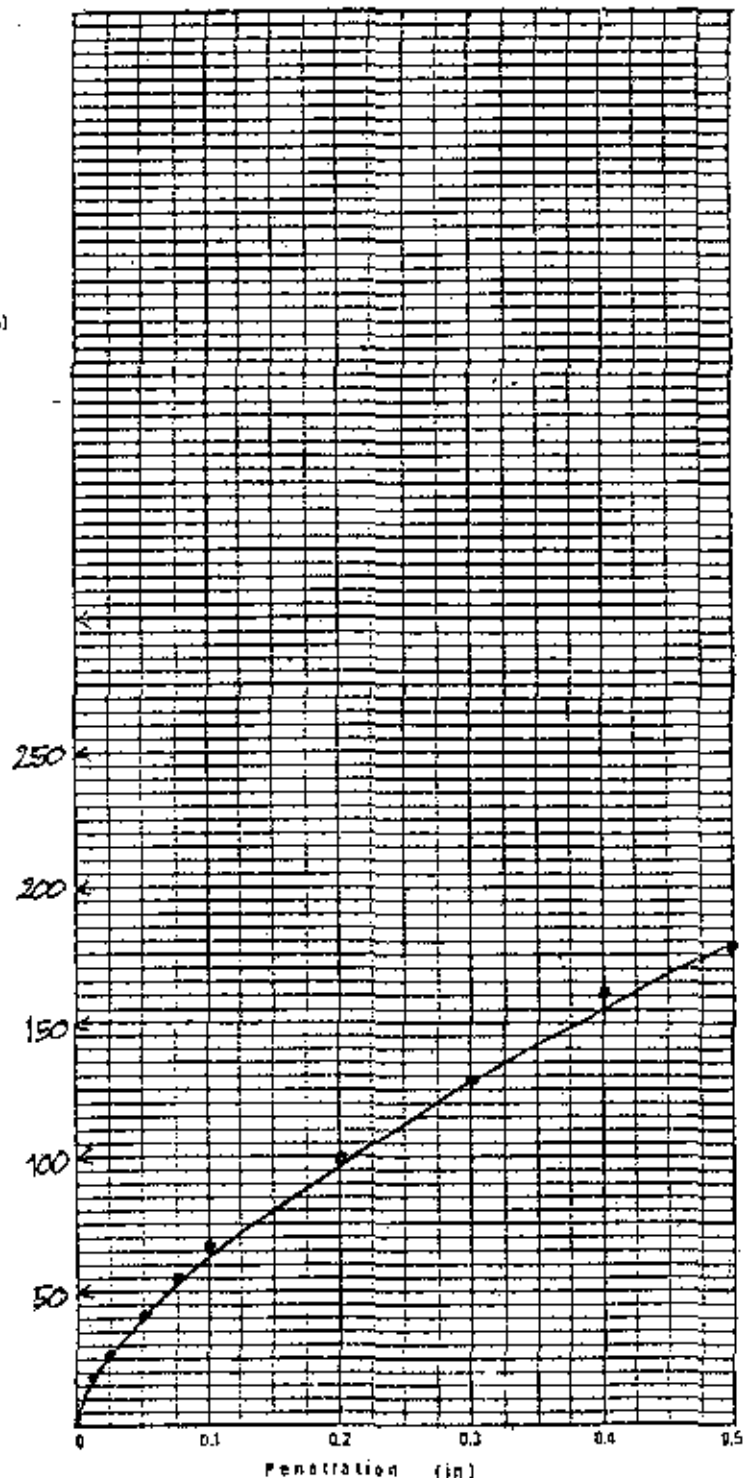
Wt. of soil + mold (gr)	12365
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	7	15.4		
0.025	12	26.4		
0.050	19	41.8		
0.075	25	55		
0.100	30	66		
0.150	36	79.2		
0.200	45	99		
0.300	59	124.8		
0.400	74	162.8		
0.500	81	178.2		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R		
Top	0.1"	$\frac{62}{3000} \times 100 = 2.07$ %
	0.2"	$\frac{102}{4500} \times 100 = 2.27$ %
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 = \quad$ %
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 = \quad$ %





CBR TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	TAKRANTRI		Max. dry density : 1 g/cc
POINT No.			Opt. Moisture Content : 18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

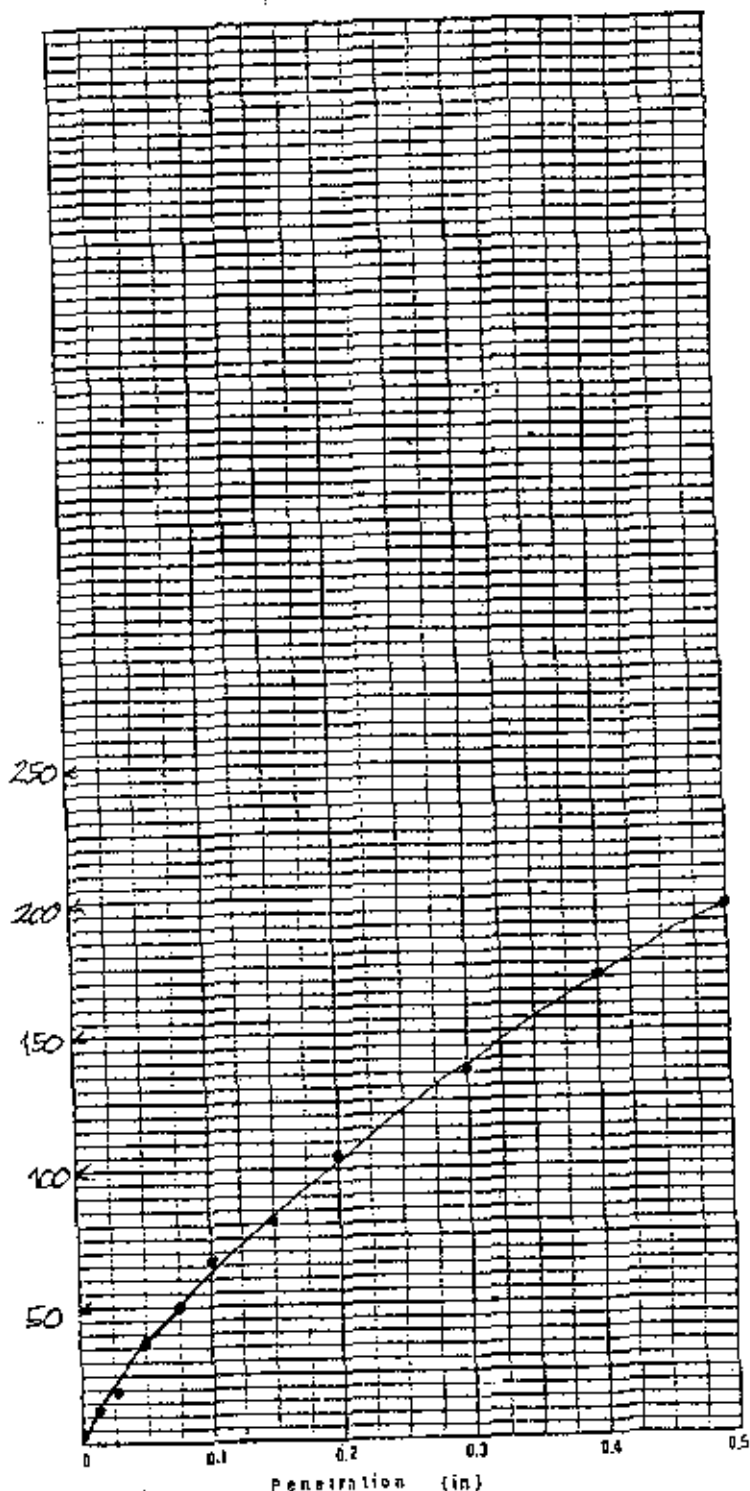
Wt. of soil + mold (gr)	12368
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	5	11		
0.025	9	19.8		
0.050	16	35.2		
0.075	23	50.6		
0.100	30	66		
0.150	33	83.6		
0.200	48	105.6		
0.300	62	136.4		
0.400	78	171.6		
0.500	89	185.8		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{62}{3000} \times 100 = 2.07$	%
	0.2"	$\frac{105}{4500} \times 100 = 2.33$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKESANTRI	Max. dry density	g/cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	%
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

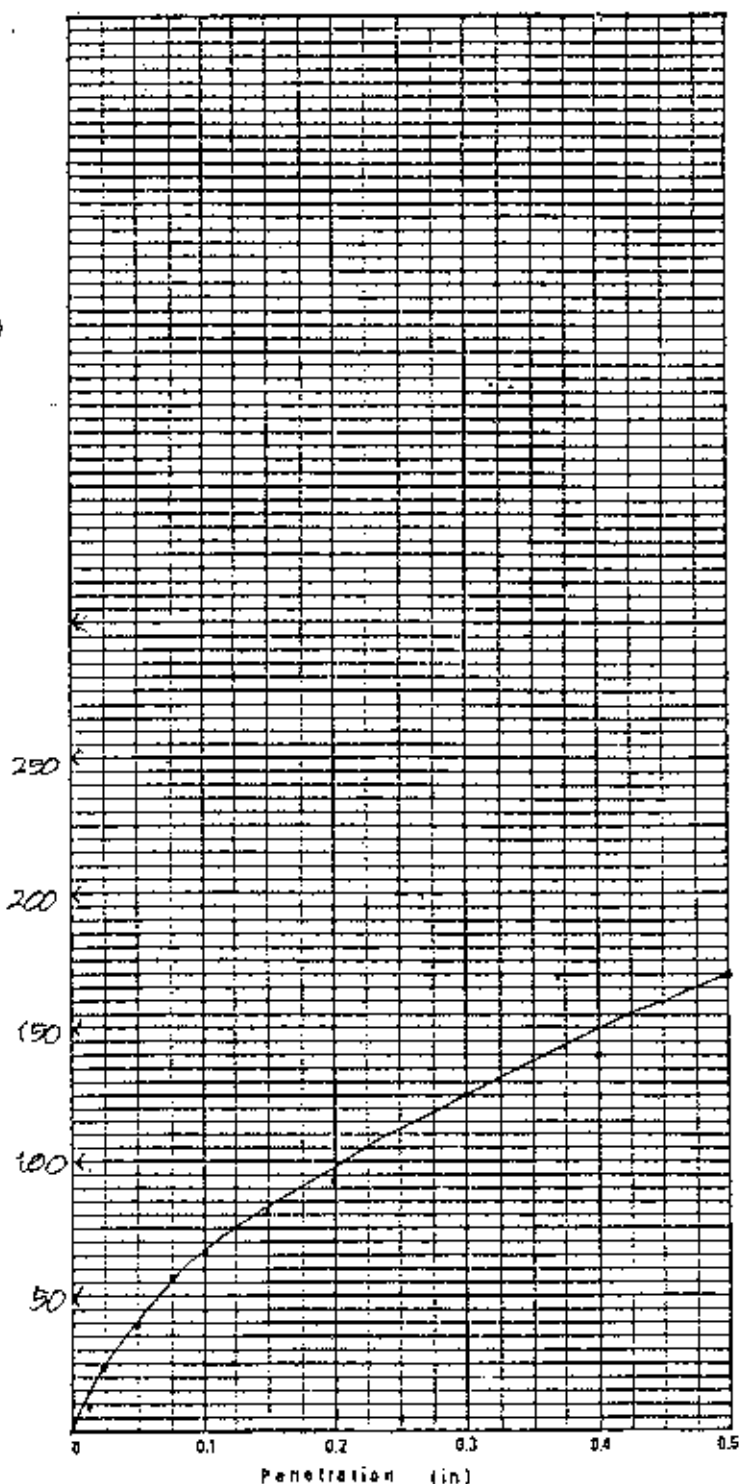
Wt. of soil + mold (gr)	12385
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked / Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	4	8.8		
0.025	11	24.2		
0.050	17	37.4		
0.075	25	55		
0.100	30.5	67.1		
0.150	37	81.4		
0.200	43	94.6		
0.300	57	125.4		
0.400	64	140.8		
0.500	78	171.6		

Soaked / Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{67.1}{3000} \times 100 = 2.24$	%
	0.2"	$\frac{97}{4500} \times 100 = 2.16$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKAR SANTRI	Max. dry density	91/cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG.		

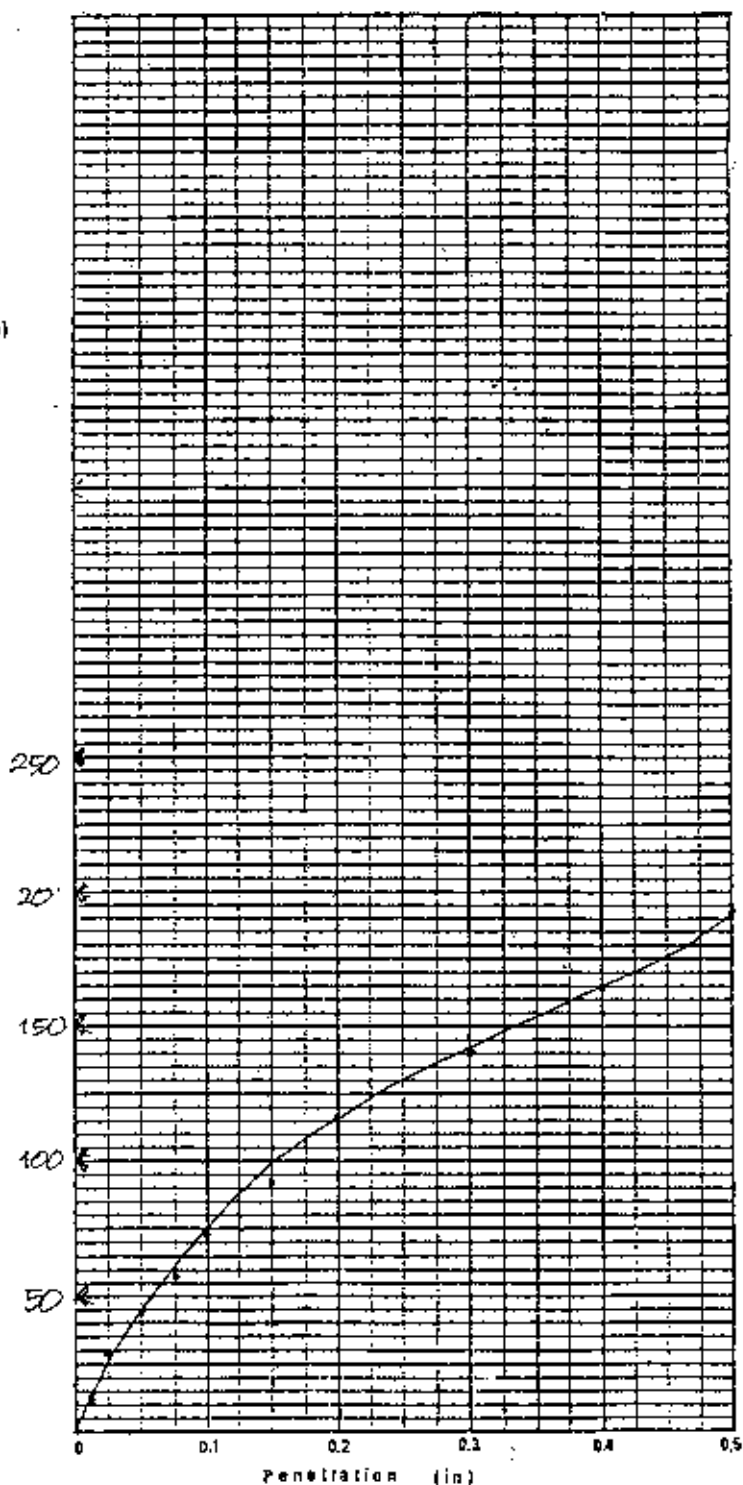
Wt. of soil + mold (gr)	12378
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (9/cc)	
Soaked / Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	6	13.2		
0.025	13	28.6		
0.050	20	44		
0.075	26	57.2		
0.100	33	72.6		
0.150	42	92.4		
0.200	53	116.6		
0.300	64	140.8		
0.400	75	165		
0.500	86	193.6		

Soaked / Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{76}{3000} \times 100 = 2.53$	%
	0.2"	$\frac{117}{4500} \times 100 = 2.60$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKAR SANTRI	Max. dry density	9%cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG.		

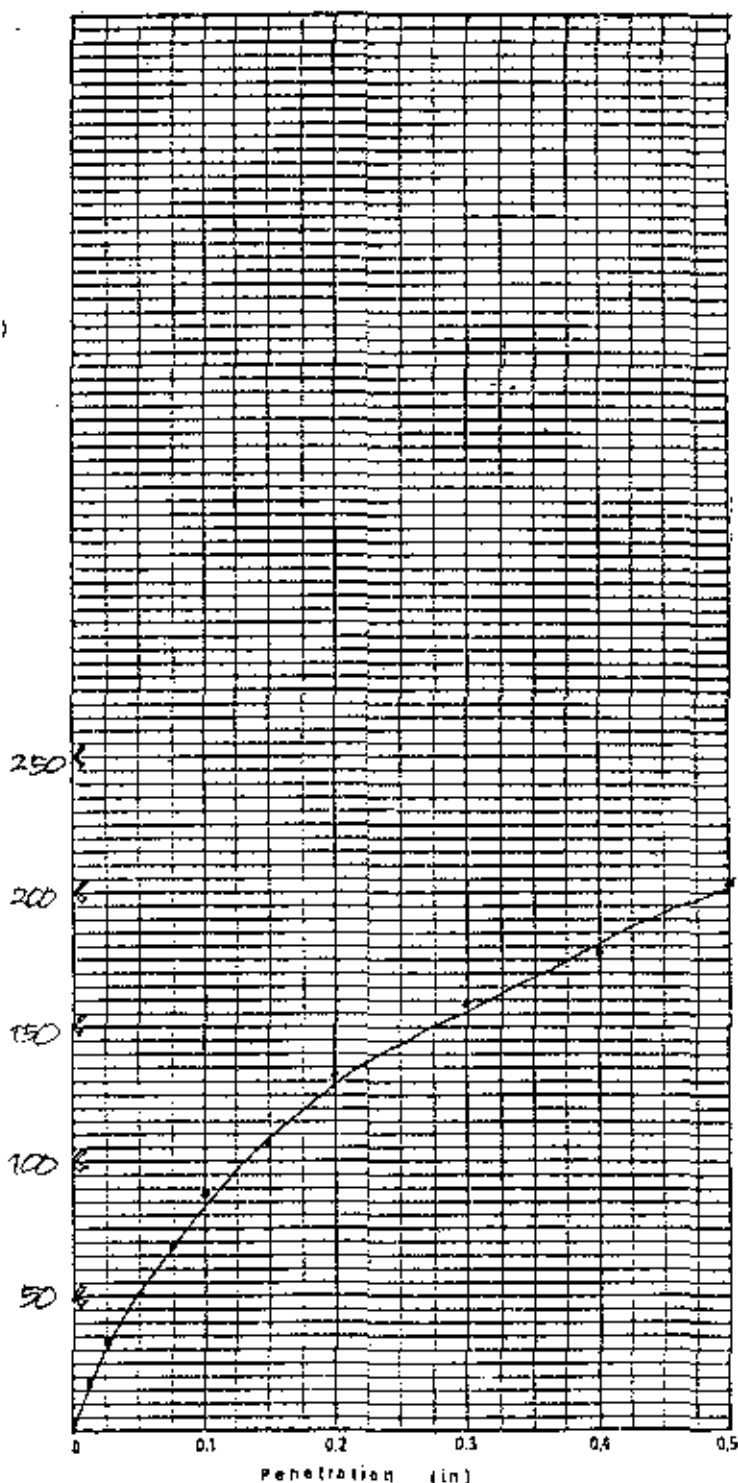
Wt. of soil + mold (gr)	12380
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(lb)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	8	17.6		
0.025	15	33		
0.050	23	50.6		
0.075	31	68.2		
0.100	40	88		
0.150	49	107.8		
0.200	60	132		
0.300	72	158.4		
0.400	81	178.2		
0.500	93	204.0		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R		
Top	0.1"	$\frac{85}{3000} \times 100 = 2.83$ %
	0.2"	$\frac{125}{4500} \times 100 = 2.77$ %
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$ %
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$ %





CBR TEST

PROJECT	: TUGAS AKHIR	Max. dry density	: 97% _{cc}
LOCATION	: LAKAR SANTRI	Opt. Moisture Content	: 13 %
POINT No.	:		
DATE	:		
Description of soil	: TANAH LEMPUNG		

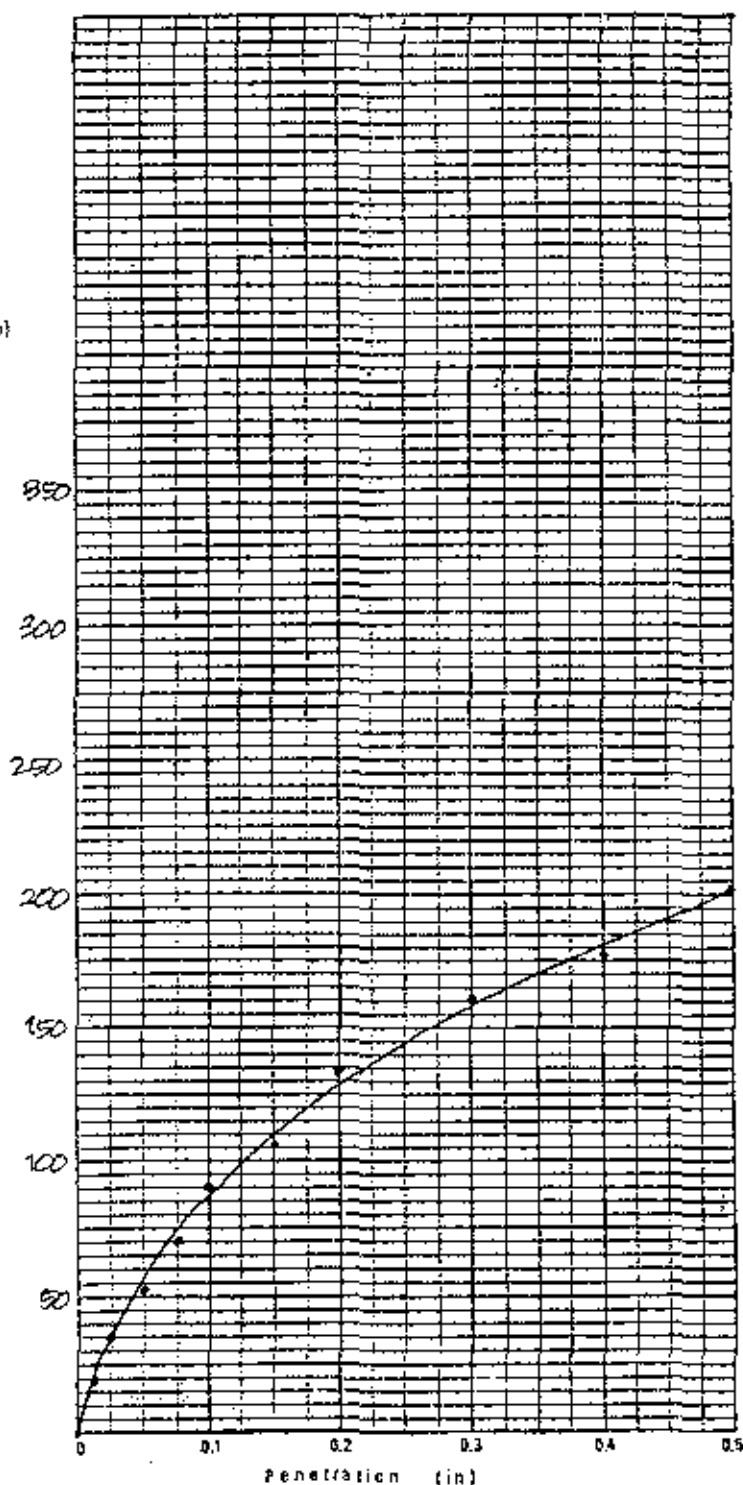
Wt. of soil + mold (gr)	12387
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (gr/cc)	
Soaked / Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	9	19.8		
0.025	16	35.2		
0.050	24	52.8		
0.075	32	70.4		
0.100	41	90.2		
0.150	49	107.8		
0.200	61	134.2		
0.300	73	160.6		
0.400	81	178.2		
0.500	92	202.4		

Soaked / Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{85}{3000} \times 100 = 2.83$	%
	0.2"	$\frac{127}{4500} \times 100 = 2.82$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKAR SANTRI	Max. dry density	g/cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

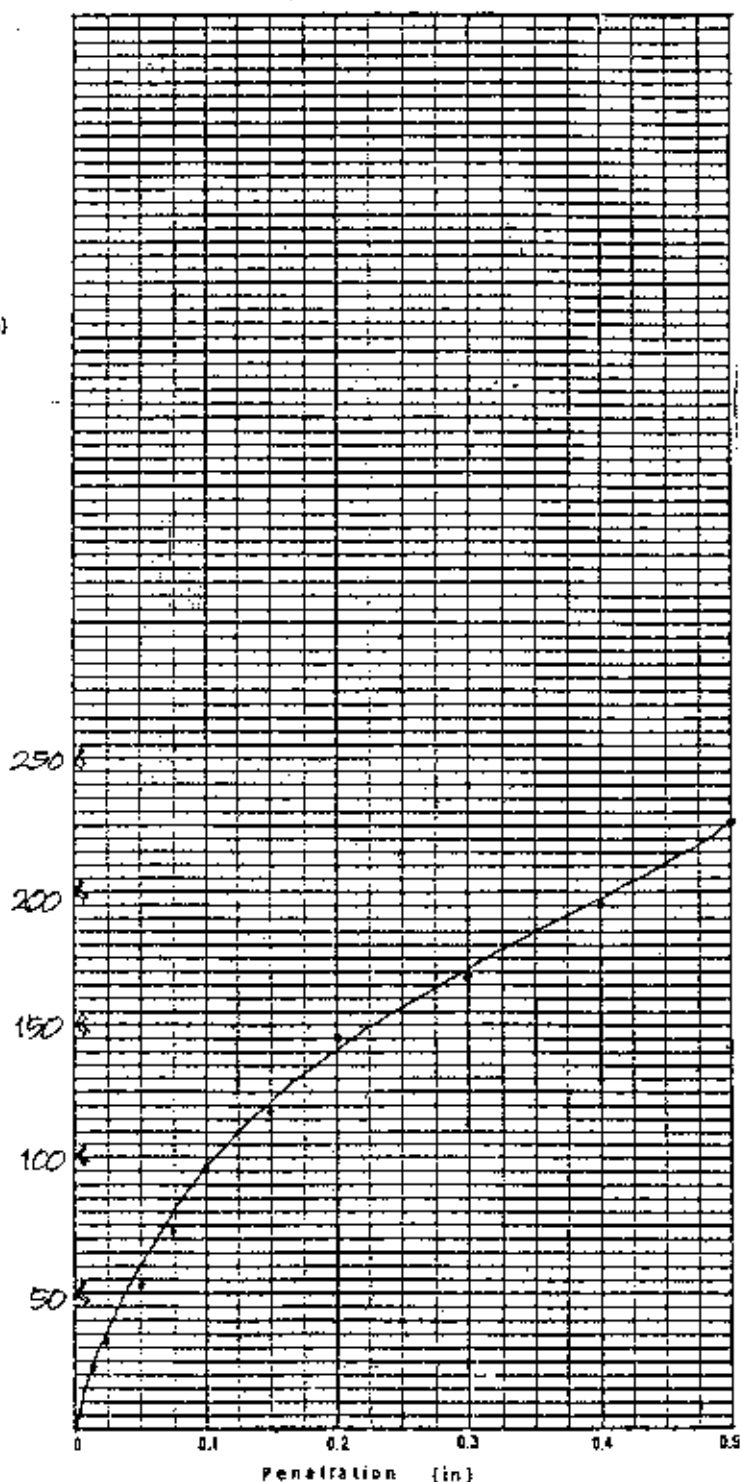
Wt. of soil + mold (gr)	12379
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration in (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	11	24.2		
0.025	17	37.4		
0.050	24	52.0		
0.075	33	72.6		
0.100	44	96.8		
0.150	54	118.8		
0.200	68	145.2		
0.300	77	169.4		
0.400	89	195.8		
0.500	103	226.6		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{97}{3000} \times 100 = 3.23$	%
	0.2"	$\frac{142}{4500} \times 100 = 3.16$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

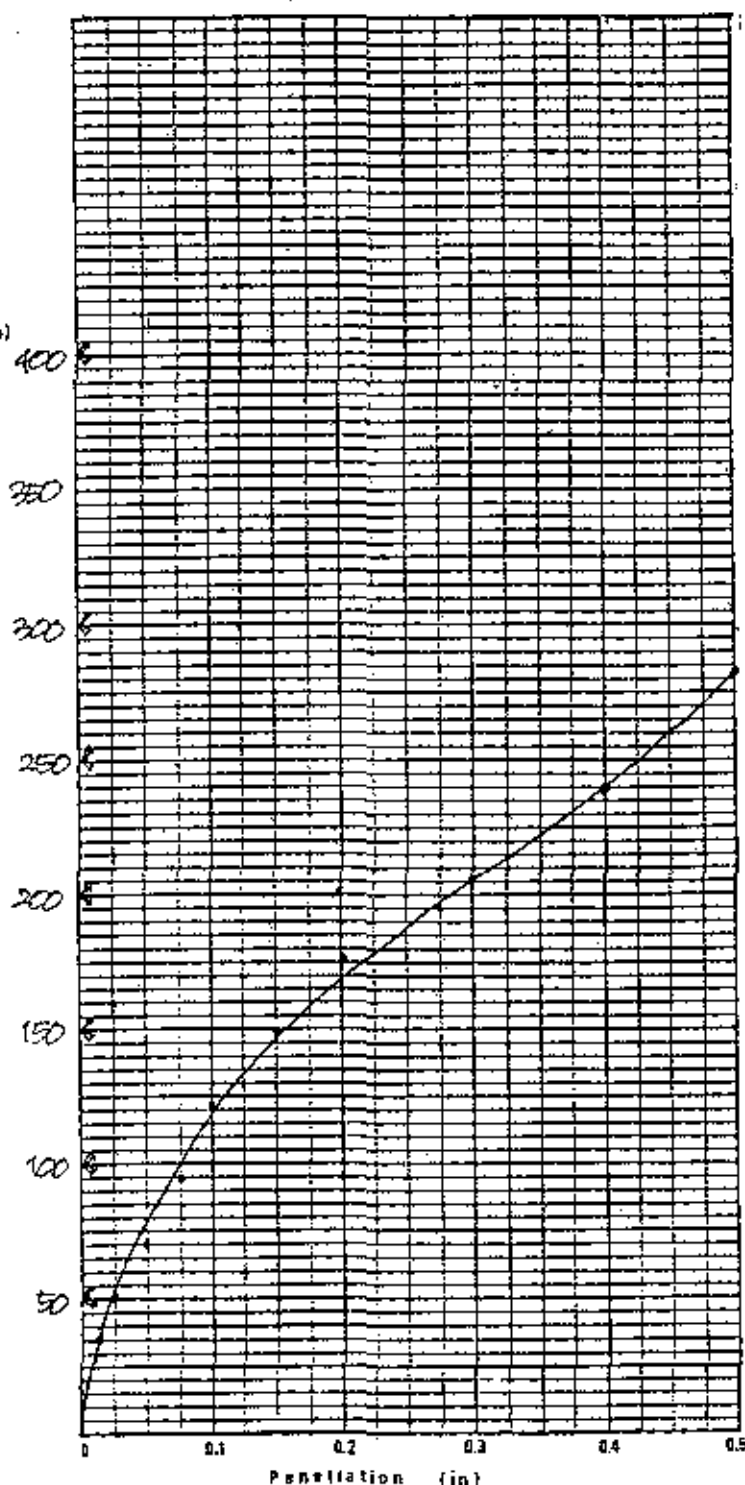
PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKARSANTRI	Max. dry density	9%cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

Wt. of soil + mold (gr)	12382
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

Penetration An (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	16	35.2		
0.025	23	50.6		
0.050	32	70.4		
0.075	43	94.6		
0.100	59	121		
0.150	68	149.6		
0.200	80	178		
0.300	94	206.8		
0.400	109	239.8		
0.500	129	283.8		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{120}{3000} \times 100 = 4.00$	%
	0.2"	$\frac{170}{4500} \times 100 = 3.78$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	: TUGAS AKHIR	Max. dry density	: 1.97 cc
LOCATION	: LAKAR SANTRI	Opt. Moisture Content	: 18 %
POINT No.	:		
DATE	:		
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

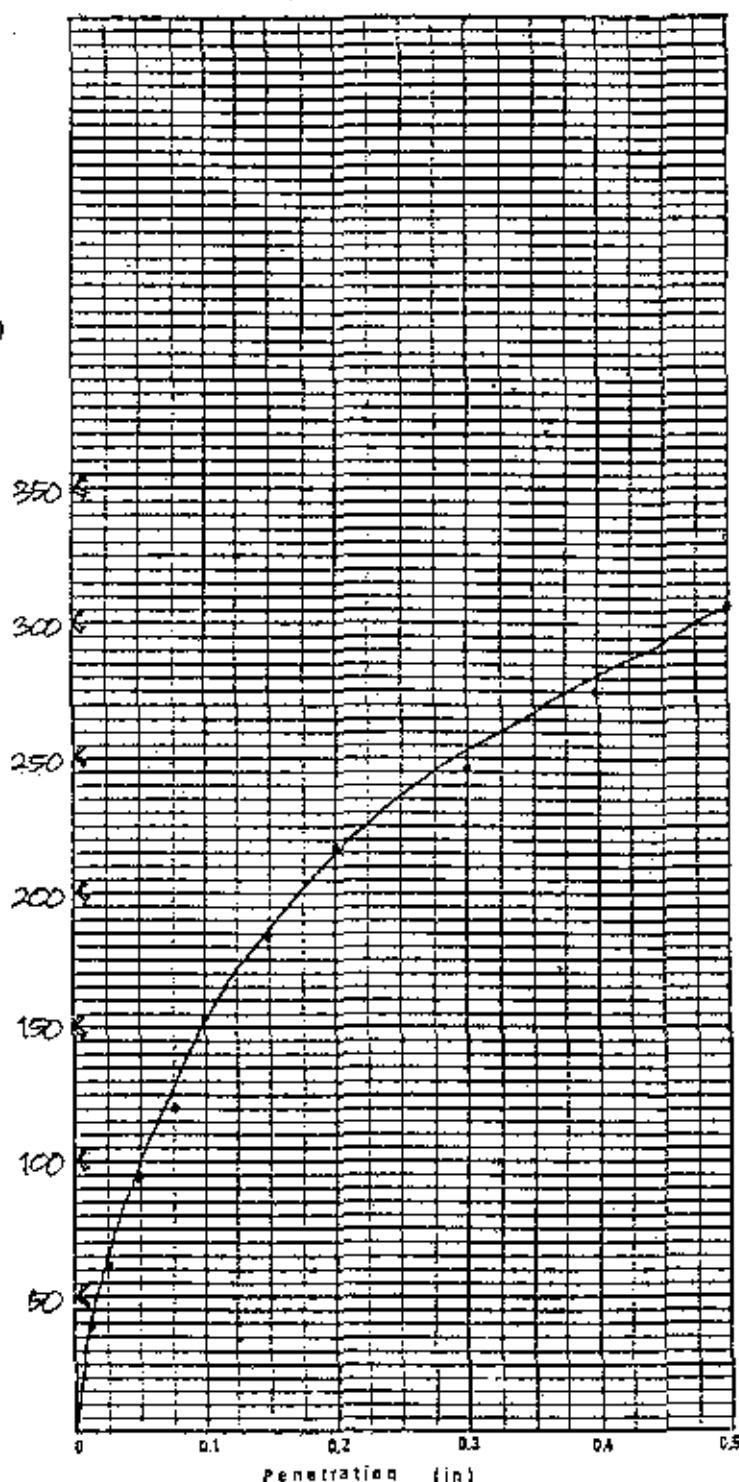
Wt. of soil + mold (gr)	12380
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	18	89.6		
0.025	28	61.6		
0.050	43	94.6		
0.075	55	121		
0.100	70	154		
0.150	84	184.8		
0.200	99	217.8		
0.300	112	246.4		
0.400	125	275		
0.500	139	305.8		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R		
Top	0.1"	$\frac{153}{3000} \times 100 = 5.10 \%$
	0.2"	$\frac{215}{4500} \times 100 = 4.78 \%$
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 = \quad \%$
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 = \quad \%$





CBR TEST

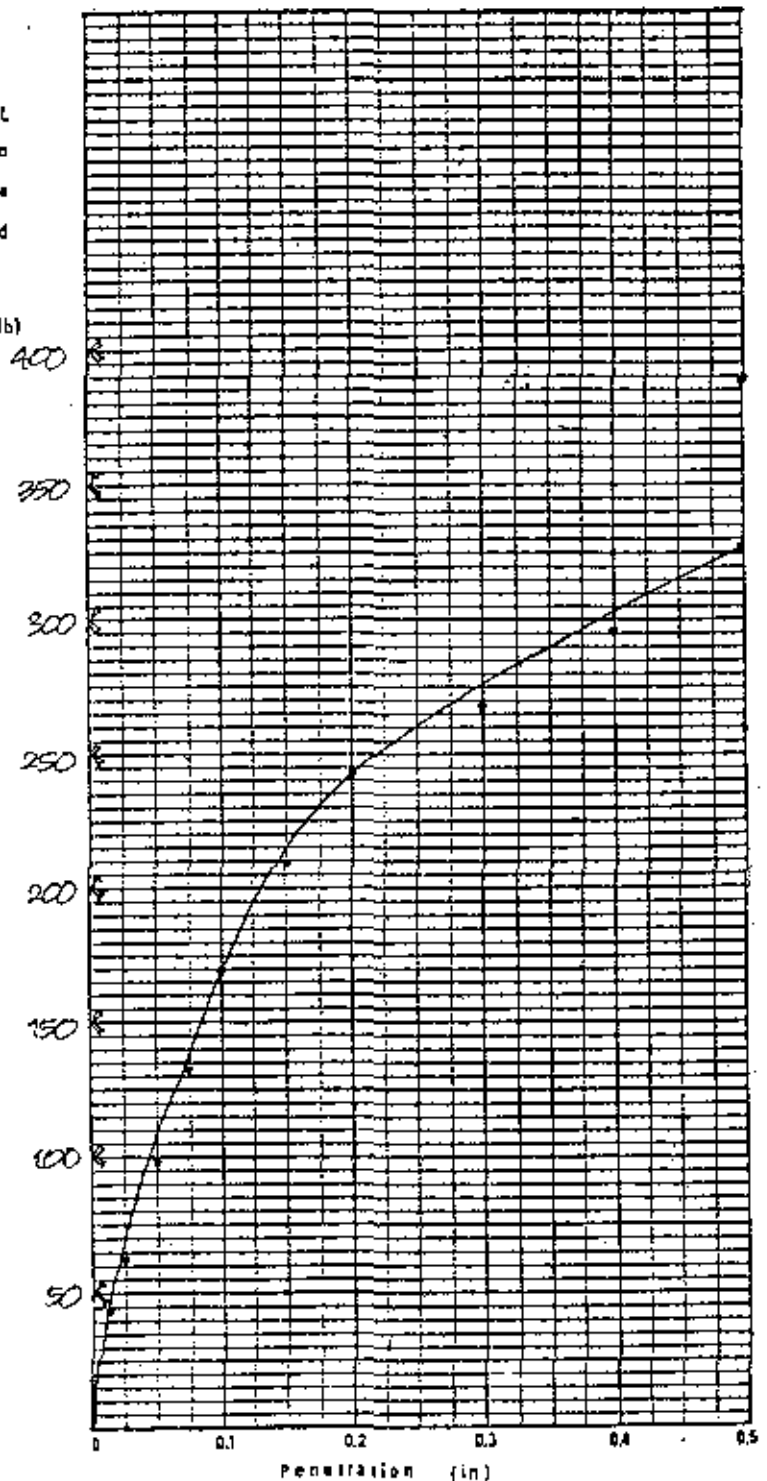
PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKAR SANTRI	Max. dry density	g/cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

Wt. of soil + mold (gr)	12376
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	20	44		
0.025	29	63,8		
0.050	45	90		
0.075	80	132		
0.100	77	169,4		
0.150	95	200		
0.200	110	242		
0.300	122	260,4		
0.400	133	292,6		
0.500	149	327,8		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{170}{3000} \times 100 = 5,67$	%
	0.2"	$\frac{242}{4500} \times 100 = 5,38$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





CBR TEST

PROJECT	: TUGAS AKHIR	Max. dry density	: 91/cu
LOCATION	: LAKARSANTRI	Opt. Moisture Content	: 18 %
POINT No.	:		
DATE	:		
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

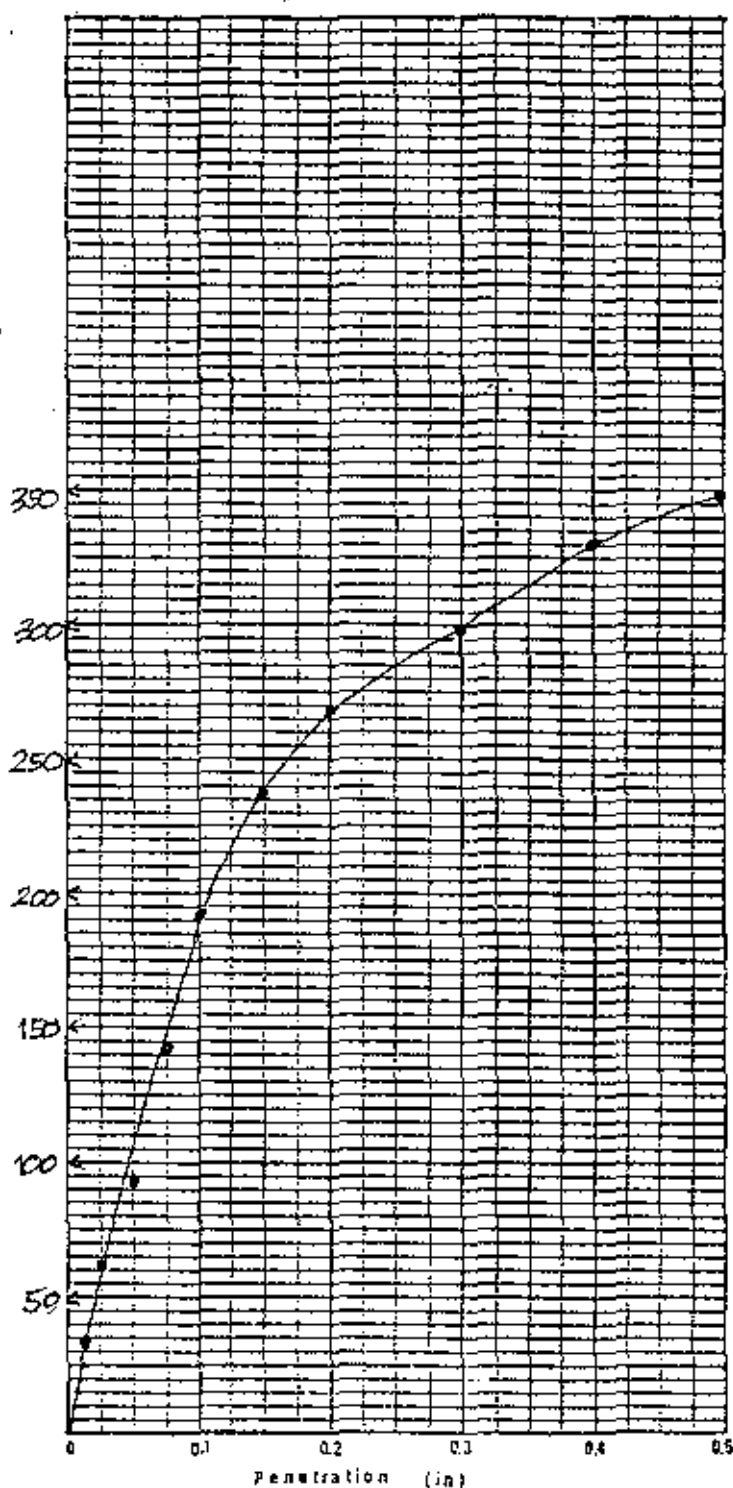
Wt. of soil + mold (gr)	12388
Wt. of mold (gr)	
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	15	33		
0.025	28	61.6		
0.050	43	94.6		
0.075	65	143		
0.100	87	191.4		
0.150	108	231.6		
0.200	122	268.4		
0.300	136	289		
0.400	150	330		
0.500	159	349.8		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R			
Top	0.1"	$\frac{91.4}{3000} \times 100 = 6.38$	%
	0.2"	$\frac{268.4}{4500} \times 100 = 5.96$	%
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 =$	%
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 =$	%





Longitudinal cracks (retak memanjang), reflection cracks (retak refleksi), shrinkage cracks (retak susut).



Shoving (sunskur), upheaval (jembul), shrinkage cracks, ravelling.



Grade depressions (ambles), upheaval, shoving, ravelling (pelepasan butiran/agregat).



Potholes (lubang), grade depressions, shoving, upheaval, longitudinal cracks.



Longitudinal cracks (retak memanjang), reflection cracks (retak refleksi), shrinkage cracks (retak susut).



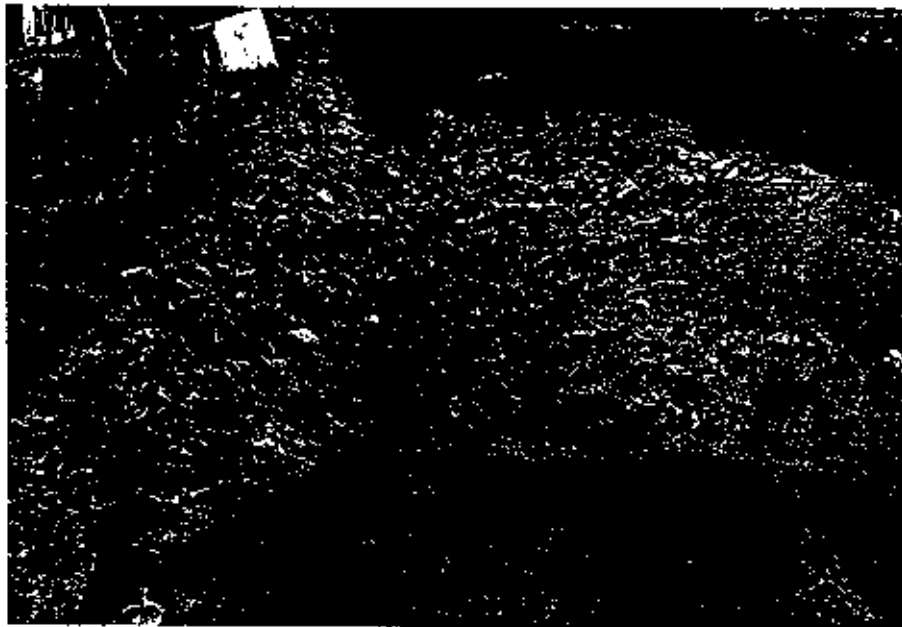
Shoving (sungkur), upheavel (jembul), shrinkage cracks, ravelling.



Grade depressions (ambles), upheavel, shoving, raveling (pelepasan butiran/agregat).



Potholes (lubang), grade depressions, shoving, upheavel, longitudinal cracks.



Potholes, shoving, edge cracks/edge distortion (retak pinggir), grade depressions.



Perbaikan jalan Lakarsantri sedang dilaksanakan pada saat pengamatan di lapangan.



C B R TEST

PROJECT	TUGAS AKHIR		
LOCATION	LAKAR SANTRI	Max. dry density	9% cc
POINT No.		Opt. Moisture Content	18 %
DATE			
Description of soil	TANAH LEMPUNG		

Wt. of soil + mold (gr)	12378
Wt. of mold (gr)	125
Wt. of soil in mold (gr)	
Wt. of dry soil (gr)	
Dry density (g/cc)	
Soaked/Unsoaked	
Swelling %	

(1b)

Penetration (in)	Top		Bottom	
	Dial reading	Load (lb)	Dial reading	Load (lb)
0.0125	15	33		
0.025	24	52.8		
0.050	33	72.6		
0.075	44	96.8		
0.100	61	134.2		
0.150	79	173.8		
0.200	93	204.6		
0.300	110	242		
0.400	126	277.2		
0.500	142	312.4		

Soaked/Unsoaked	Before	After
Wt. of soil + can (gr)		
Wt. of dry soil + can (gr)		
Wt. of can (gr)		
Wt. of water (gr)		
Wt. of dry soil (gr)		
Water content (%)		

C B R		
Top	0.1"	$\frac{138}{3000} \times 100 = 4.60 \%$
	0.2"	$\frac{204}{4500} \times 100 = 4.53 \%$
Bottom	0.1"	$\frac{\quad}{3000} \times 100 = \quad \%$
	0.2"	$\frac{\quad}{4500} \times 100 = \quad \%$

